



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



DANIELLE MONTEIRO DE OLIVEIRA

**EFEITO DO BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO
DESENVOLVIMENTO DE CASTANHEIRA DO BRASIL EM LATOSSOLO
AMARELO DA AMAZÔNIA CENTRAL**

Botucatu

2017

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

DANIELLE MONTEIRO DE OLIVEIRA

**EFEITO DO BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO
DESENVOLVIMENTO DE CASTANHEIRA DO BRASIL EM LATOSSOLO
AMARELO DA AMAZÔNIA CENTRAL**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutora em Ciência Florestal.

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

Co-orientador: Newton Paulo de Souza
Falcão

Botucatu

2017

O48e

Oliveira, Danielle Monteiro de

Efeito do biocarvão e adubação fosfatada no desenvolvimento de castanheira do brasil em Latossolo Amarelo da Amazônia central / Danielle Monteiro de Oliveira. -- Botucatu, 2017

103 f. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

Coorientador: Newton Paulo de Souza Falcão

1. Fertilidade do solo. 2. Carbono pirogênico. 3. Bertholletia excelsa. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFEITOS DO BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO DESENVOLVIMENTO DE CASTANHEIRA DO BRASIL EM LATOSSOLO AMARELO DA AMAZÔNIA CENTRAL

AUTORA: DANIELLE MONTEIRO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: IRAÉ AMARAL GUERRINI

COORIENTADOR: NEWTON PAULO DE SOUZA FALCÃO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. IRAÉ AMARAL GUERRINI

Departamento de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Dr. TAKASHI MURAOKA

Departamento de Fertilidade do Solo / CENA/USP - Piracicaba/SP



PROF. DR. CASSIO HAMILTON ABREU JUNIOR

Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas / USP - Piracicaba/SP



Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, SP

Botucatu, 26 de maio de 2017.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me capacitar e conferir a força e serenidade necessárias para vencer todos os obstáculos que a vida sempre impõe.

Aos meus pais e irmãos que sempre me apoiaram.

Ao meu co-orientador, pai e amigo Dr. Newton Paulo de Souza Falcão, por ter acreditado em mim desde a Graduação e por ter sido amigo.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini, por juntos ousarmos sonhar este projeto e o colocarmos em prática.

À minha Banca Examinadora, pela disponibilidade em participar deste processo, pelas críticas e contribuições.

Aos amigos que fiz durante esta caminhada e que farão parte de todo o resto da minha vida, em especial à Leidiane Carvalho, Leila Delmadi e Lívia Goulart.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pelo suporte, logística e apoio.

Aos técnicos do INPA Mozanei Trindade, Sandoval Nascimento, Francisco Marques, Jonas Moraes e Erison Gomes.

À FAPEAM, pela concessão da Bolsa, sem a qual eu não conseguiria chegar até aqui.

RESUMO

Os solos da Amazônia, apesar das boas condições físicas, apresentam várias limitações químicas como a baixa quantidade natural de fósforo (P) e altas taxas de adsorção desse elemento nas argilas. Em contrapartida, os solos as Terras Pretas de Índio (TPI's) contém alto teor de P que pode estar ligado aos elevados teores de biocarvão - BC que garante essa fertilidade por muitos anos. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de doses de BC combinado com doses de P sobre os parâmetros morfológicos de mudas de Castanheira, a nutrição e os atributos químicos do solo. O experimento foi realizado em casa de vegetação no Campus III do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-AM, utilizando-se um Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa. O delineamento utilizado foi em blocos inteiramente casualizado em arranjo fatorial 5×5 , sendo cinco doses de BC (0, 20, 40, 60 e 80 t ha⁻¹) e cinco doses de P₂O₅ (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹), totalizando 25 tratamentos, 4 repetições e 100 unidades experimentais. Os parâmetros biométricos (altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas e matéria seca da parte aérea-MSPA) não foram influenciados positivamente pelos tratamentos testados, embora tenha se observado em análise de variância que as doses de P₂O₅ causaram incremento na MSPA na ausência e na dose máxima de Biocarvão, porém, a última medição revelou efeito negativo com o aumento das doses de BC. Quando se analisou as cinco medições, notou-se que a aplicação de 20 t de BC isolado, proporcionou altura das plantas ao longo do tempo maior ou igual aos tratamentos onde se aplicou BC com P₂O₅. Não foram observadas diferenças significativas sobre o número de folhas de Castanheira-do-brasil. A ausência de respostas mais evidentes pode ser o reflexo da adsorção de nutrientes pelo biocarvão, visto que os tratamentos foram significativos para os atributos químicos do solo, favorecendo a neutralização de Al e consequentemente aumentando pH, bem como mostrando interação significativa para C, N, P, SB, S, V% e micronutrientes exibindo ainda aumentos expressivos dos teores de fósforo total e forte relação do poder adsorativo do biocarvão pelo fósforo, comprovado pelo fato de que o biocarvão no nível de 20 t ha⁻¹ promoveu valores maiores de P quando comparados aos que não continham biocarvão. Em geral, os resultados não foram significativos quanto aos parâmetros biométricos avaliados, no entanto, o BC mostrou a capacidade de adsorção de alguns atributos químicos do solo e principalmente nos teores de P.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, Carbono pirogênico, *Bertholletia excelsa*.

ABSTRACT

The soil of Amazônia, still of the good physical conditions, have several limitations with the low natural amount of phosphorus (P) and high adsorption rates of this element in clays. However, the soils of black soil of the indians, contains high content of P which may be linked to the high levels of biochar (BC), which guarantees fertility for many years. Based on, the object this work was to evaluate the effect of doses of BC combined with doses of P on morphological parameters of castanheiras of seedlings, and soil chemical attributes. The experiment was carried out in a greenhouse at Campus III of the National Institute of Amazonian Research (INPA), at Manaus-AM, Using a dystrophic Yellow Latosol, clayey texture. The design was completely randomized blocks in factorial arrangement 5 x 5, with five doses of BC (0, 20, 40, 60 e 80 t/ha-1) and five doses of P₂O₅ (0, 100, 200, 300 e 400 kg/ha-1), totaling 25 treatments, 4 replicates and 100 experimental units. The biometric parameters (plant height, stem diameter, leaf number and shoot dry matter - MSPA) were not positively influenced by the treatments tested, although it was observed in analysis of variance that the P₂O₅ doses Caused an increase in the MSPA in the absence and at the maximum dose of Biocarvão, however, the last measurement showed a negative effect with the increase of the doses of BC. When the five measurements were analyzed, it was noticed that the application of 20 t of BC isolated, provided height of the plants over time greater or equal to the treatments where BC was applied with P₂O₅.

There were no significant differences in the number of leaves of Castanheira-do-brasil. The absence of more evident responses may be a reflection of nutrient adsorption by biochar, since the treatments were significant for soil chemical attributes, favoring Al neutralization and consequently increasing pH, as well as showing a significant interaction for C, N, P, SB, S, V% and micronutrients showing significant increases in the total phosphorus content and a strong relation of the adsorptive power of the biochar by the Phosphorus, evidenced by the fact that the biochar at the level of 20 t ha⁻¹ promoted higher values of P when compared to those that did not contain biochar. In general, the results were not significant regarding the biometric parameters evaluated, however, the BC showed the adsorption capacity of some chemical attributes of the soil and mainly in the levels of P.

Key-words: Soil fertility, Pyrogenic carbon, *Bertholletia excelsa*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do biocarvão de ouriço de castanha produzido à 500 °C.....	44
Tabela 2. Efeito de diferentes níveis de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre o peso da matéria seca da parte aérea aos 365 dias após o plantio.....	46
Tabela 3. Efeito de diferentes níveis de biocarvão e P ₂ O ₅ em Latossolo Amarelo sobre o diâmetro das plantas de Castanheira aos 90 dias após o plantio.....	52
Tabela 4. Concentração de Nitrogênio em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha.....	54
Tabela 5. Concentração de Potássio em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P ₂ O ₅	55
Tabela 6. Concentração de Fósforo em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de P ₂ O ₅	56
Tabela 7. Concentração de Cálcio em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P ₂ O ₅	58
Tabela 8. Concentração de Boro em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P ₂ O ₅	60
Tabela 9. Concentração de Cobre em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P ₂ O ₅	61
Tabela 10. Concentração de Ferro em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P ₂ O ₅	62
Tabela 11. Concentração de Zinco em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P ₂ O ₅	62
Tabela 12. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P ₂ O ₅ em Latossolo Amarelo sobre os teores de Carbono aos 365 dias após o plantio.....	64
Tabela 13. Efeito de diferentes doses de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre os teores de Matéria Orgânica aos 365 dias após o plantio.....	66
Tabela 14. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P ₂ O ₅ em Latossolo Amarelo sobre os teores de Nitrogênio aos 365 dias após o plantio.....	67
Tabela 15. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P ₂ O ₅ em Latossolo Amarelo sobre o pH(CaCl ₂) aos 365 dias após o plantio.....	68
Tabela 16. Efeito de diferentes doses de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre os teores de Alumínio aos 365 dias após o plantio.....	70
Tabela 17. Efeito de diferentes doses de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre os teores de Acidez potencial aos 365 dias após o plantio.....	70
Tabela 18. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P ₂ O ₅ em Latossolo Amarelo sobre a Soma de Bases aos 365 dias após o plantio.....	72

Tabela 19. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre a Saturação por Bases aos 365 dias após o plantio.....	73
Tabela 20. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Fósforo aos 365 dias após o plantio.....	74
Tabela 21. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Fósforo total aos 365 dias após o plantio.....	76
Tabela 22. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Ferro aos 365 dias após o plantio.....	79
Tabela 23. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Cobre aos 365 dias após o plantio.....	80
Tabela 24. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Zinco aos 365 dias após o plantio.....	82
Tabela 25. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Manganês aos 365 dias após o plantio.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área experimental.....	38
Figura 2. Área de retirada do solo.....	38
Figura 3. Processo de produção de biocarvão no CPPF do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.....	38
Figura 4. Peso da matéria seca da parte aérea em função das doses de P_2O_5 , na ausência e na dose de 80 t ha^{-1} de biocarvão.....	47
Figura 5. Altura das plantas aos 12 meses em função das doses de Biocarvão.....	48
Figura 6. Altura das plantas aos 6 meses em função das doses de P_2O_5 na ausência de biocarvão.....	49
Figura 7. Efeito da dose de 20 t ha^{-1} de biocarvão sob as diferentes doses de P_2O_5 , em função do tempo.....	51
Figura 8. Diâmetro do coleto aos 6, 9 e 12 meses em função das doses de P_2O_5 na ausência de biocarvão.....	53
Figura 9. Efeito das doses de Biocarvão sobre a CTC do solo.....	70
Figura 10. Teores de P disponível e de P total em função do aumento das doses de biocarvão.....	77
Figura 11. Efeito das doses de biocarvão em função das doses de P sobre os teores de Enxofre no solo.....	78
Figura 12. Efeito da aplicação de doses de biocarvão sobre os teores de Fe no solo e concentração foliar de Ferro.....	80
Figura 13. Efeito de doses de biocarvão sobre os teores de Matéria Orgânica em função dos teores de Cobre no solo.....	81
Figura 14. Efeito de doses de biocarvão sobre os valores de pH CaCl_2 em função dos teores de Zinco no solo.....	82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1. SOLOS DA AMAZÔNIA	23
2.1.2. TERRA PRETA DE ÍNDIO	24
2.2. FÓSFORO EM SOLOS TROPICAIS.....	26
2.3. BIOCARVÃO	28
2.3.1. BIOCARVÃO COMO CONDICIONADOR DO SOLO	30
2.4. CASTANHEIRA DO BRASIL (<i>Bertholletia Excelsa</i> , H.B.K).....	33
2.4.1. TAXONOMIA.....	34
2.4.2. SILVICULTURA E REFLORESTAMENTO.....	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	37
3.2. PRODUÇÃO E ANÁLISE DO BIOCARVÃO.....	38
3.3 COLETA E ANÁLISE DE MATERIAL VEGETAL E SOLOS.....	39
3.4 AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS	40
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
3.6. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. RENDIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOCARVÃO DE OURIÇO DE CASTANHA.....	43
4.2 EFEITOS DOS TRATAMENTOS NOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO	45
4.3. EFEITO DOS TRATAMENTOS SOBRE O ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS.....	53
4.4 EFEITOS DOS TRATAMENTOS NOS TEORES DE CARBONO, NITROGÊNIO E MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO.	63
4.4.1 EFEITO DOS TRATAMENTOS SOBRE OS ÍNDICES DE ACIDEZ NO SOLO.	68

4.4.2 EFEITO DE DOSES DE BIOCARVÃO E FÓSFORO NA SOMA DE BASES (SB), NA SATURAÇÃO POR BASES E NOS TEORES DE FÓSFORO TOTAL E DISPONÍVEL	71
4.4.3 EFEITO DE NÍVEIS DE BIOCARVÃO E FÓSFORO NOS TEORES DE MICRONUTRIENTES.	78
5 CONCLUSÕES.....	84
6.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

Os solos que predominam na Amazônia são Latossolos e Argissolos, caracterizados por apresentar baixa concentração de Ca, Mg e K, minerais de argila de atividade baixa, elevada acidez e, portanto, maior concentração de alumínio trocável e, em certos casos, manganês, além da baixa disponibilidade de fósforo (SANCHEZ e COCHRANE, 1980; SANCHEZ et al., 1982).

O fósforo assume importância ainda maior, ao considerarmos que quando são adicionados ao solo quantidades solúveis de fósforo na forma de fertilizantes, esse elemento é muitas vezes “fixado”, mesmo sob condições ideais (BRADY, 1983). Há diferenças entre solos, na eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, relacionadas com processos de adsorção. Segundo Alcarde *et al.* (1991), estima-se que apenas 5% a 20% do fósforo solúvel adicionado ao solo como adubo seja aproveitado pela cultura que o recebeu e que 80% a 95% dele seja fixado.

Na agricultura brasileira os fosfatos solúveis em água têm sido as fontes mais utilizadas de P, por serem excelentes fornecedores desse nutriente, mesmo sendo exigente por S para produção, que por ser matéria prima importada resulta em aumento de custo. Os fosfatos naturais brasileiros têm mostrado uma eficiência inicial baixa e melhorando ao longo do tempo, sem, contudo, apresentarem um efeito residual superior ao dos fosfatados reativos (GOEDERT e SOUZA, 1984, LOPES et al., 2003).

Na Amazônia, devido a origem do solo e o intenso regime pluviométrico, os inconvenientes com adubação fosfatadas se tornam ainda mais críticos, porém, a manutenção de altos níveis de fósforo, cálcio, magnésio, zinco e carbono orgânico em solos de Terra Preta está associada a uma grande e prolongada entrada de material orgânico fresco e carbonizado (carbono pirogênico) (GLASER et al., 2001; LEHMANN et al., 2002, 2003b).

Esta técnica que vem sendo “resgatada”, pois, acredita-se que esta prática já era utilizada pelos índios locais há séculos e para o mesmo fim (Steiner et al., 2004), é a prática da biocarbonização de resíduos das atividades agroindustriais, como uma técnica com alto potencial para o manejo dos resíduos orgânicos, com produção de biocarvão e sua utilização na melhoria da qualidade física, química e biológica dos solos degradados. O biocarvão apresenta um impacto positivo na redução das

emissões de gases do efeito estufa (GEE) com aumento do estoque de carbono nos solos e melhoria da produção da agricultura.

A melhoria da produção da agricultura traz consigo um aumento de resíduos, principalmente quando se trata de culturas agroindustriais como é o caso da Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.), que é uma das espécies mais importantes da Amazônia. Estes resíduos, atualmente, são utilizados na fabricação de biojóias, artesanatos, entre outros, porém, tais atividades não conseguem acompanhar a disponibilidade do material, podendo na floresta ser acumulador de água, podendo prejudicar alguma parte da safra seguinte, pelo fato de ser facilmente atacado por fungos patógenos que podem afetar os ouriços que irão cair, já que possui lenta decomposição. Nos monocultivos, o problema se torna ainda mais grave, pois os resíduos são formados em pilhas e não tem destino certo, podendo permanecer no local até sua decomposição total.

Uma destinação à este material pode ser seu retorno aos plantios da própria espécie, depois de passar pelo processo de biocarbonização, que ainda possui características desconhecidas, porém, é uma das formas de aproveitar este material e tentar encontrar uma maneira de acelerar o crescimento da Castanheira do Brasil, bem como melhorar e conhecer as características nutricionais e consequentemente melhorar o desenvolvimento.

Entretanto o teor de P e os demais nutrientes como Ca, Mg e Zn na composição do biocarvão é baixa. Assim sendo, a utilização de biocarvão de ouriço de castanha no solo requer outras fontes adicionais de nutrientes para complementar a fertilização e suprir as necessidades nutricionais básicas para as culturas.

Considerando que a agricultura na Amazônia ainda persiste no sistema de agricultura itinerante, a qual se baseia na prática de corte e queima de pequenas áreas da floresta primária, seguido do plantio de culturas alimentares e de curto ciclo por no máximo três anos, seguido do abandono da área por longos períodos para a regeneração natural da floresta, uma das formas de diminuir substancialmente a dependência por produtos e insumos agrícolas de outros Estados seria desenvolver tecnologias agrícolas nessas áreas abandonadas tornando-as produtiva e inserindo-a ao sistema produtivo regional, baseando-se no princípio que deu origem à alta fertilidade das Terras Pretas de Índio (TPI).

Desta forma, busca-se aumentar a disponibilidade de nutrientes, mais especificamente do fósforo, baseando-se no princípio que deu origem ao elevado teor

desse nutriente na Terra Preta, unindo conhecimentos tradicionais com novas tecnologias, como os fertilizantes minerais, o que poderia representar uma alternativa de manejo sustentável para a agricultura na região Amazônica.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi de avaliar o efeito do biocarvão de ouriço de castanha na fertilidade do solo, mais especificamente da disponibilidade de fósforo e na nutrição da Castanheira do Brasil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Solos da Amazônia

A Bacia Amazônica abrange uma área no território brasileiro de aproximadamente 4,5 milhões de km², dos quais aproximadamente 75% são solos de baixa fertilidade como os Latossolos (Oxisol) e Argissolos (Ultisol) (Sanchez et al., 1982), o que dificulta a inserção de qualquer tipo de cultivo, principalmente quando se leva em consideração a dificuldade na obtenção de insumos agrícolas. O uso inicial da terra consiste no desmatamento, remoção da madeira com expressividade econômica e a posterior utilização de queimadas para introdução de culturas anuais, perenes ou formação de pastagens (ANDREUX e CERRI, 1989).

Os Latossolos e os Argissolos são derivados de sedimentos pobres como o argilito e o arenito. Estes solos tem maior representatividade geográfica, com predominância de minerais de argilas do tipo caulinita que tem suas partículas revertidas por óxidos de ferro e alumínio (LEPSCH 2011). Devido à escassez de nutrientes inerentes destes solos, há necessidade de se gerar novas informações sobre o manejo agrícola com uso de fertilizantes convencionais e/ou alternativos tais como compostos orgânicos frescos e/ou biocarbonizados.

São solos profundos com 1,50m ou mais de profundidade, assentados sobre argilitos da Formação Barreiras de acordo com Ranzani, (1980), apresentam, em seu perfil, transições difusas e possuem poucos minerais intemperizáveis, com forte presença de argilas do tipo 1:1 (caulinita) e óxidos de ferro (hematita e goetita) e alumínio (gibbsite). Ocorrem em regiões de muita precipitação e são derivados de sedimentos pobres (SOMBROEK 1966; VALE JÚNIOR et al. 2011).

Nestes solos, como descreve Sanchez e colaboradores (1982), embora uma floresta exuberante se estabeleça, registram-se baixos níveis de fósforo e de matéria orgânica, após a remoção da mata, seguido da redução da produtividade dos cultivos e abandono temporário da área, na etapa produtiva designada como pousio ou descanso da terra. Os baixos teores de nutrientes nos Latossolos inviabilizam uma exploração de longo prazo por parte dos agricultores, uma vez que a adição de fertilizantes minerais ou orgânicos é pouco utilizada pela ausência de orientação técnica específica, bem como, pelos preços elevados dos insumos agrícolas, o baixo

poder aquisitivo dos produtores e a baixa valorização dos produtos agrícolas de subsistência (FERNANDES, 1982).

Contudo, são solos com boas propriedades físicas, bem drenados e profundos, sendo assim, a exploração mais intensiva desta classe de solos, requer um manejo específico onde a ênfase maior será para a reposição de seus teores de matéria orgânica, que, via de regra é a única forma de manter e elevar os seus estoques de nutrientes essenciais para os cultivos. A escolha dos materiais e a proporção destes no solo dependem da sua disponibilidade e do custo.

Em meio aos solos de baixa fertilidade da Amazônia é possível encontrar manchas de solo com um horizonte superficial espesso e de coloração preta ou marrom escura; normalmente contendo pedaços de cerâmicas, e recobrimo, principalmente, solos cauliníticos intemperizados. Esta categoria de solo constitui uma das feições mais interessantes da paisagem Amazônica, e representa um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas.

Regionalmente são referenciados por sua alta fertilidade, tais solos são comumente conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) (SOMBROEK, 1966; FALESI, 1972; SOMBROEK et al., 2003; KERN et al., 2003; FALCÃO et al., 2003). O processo de biocarbonização de grande quantidade de resíduos orgânicos proporcionou a incorporação de altos teores de carvão nesses solos, mostrando-se uma importante técnica para estocar carbono.

2.1.2 Terra Preta de Índio

As terras pretas de índio são encontradas em toda a extensão territorial da Amazônia sobre Latossolos e Argissolos (LIMA et al. 2002). Esses solos têm como características uma alta fertilidade (Ca, Mg, Zn, Mn, P e C), grande quantidade de matéria orgânica e comparadas com solos adjacentes possuem uma alta atividade biológica e pH elevado (FALCÃO et al. 2001; FALCÃO et al. 2010). Segundo Kern e Kampf (1989), as TPIs apresentam elevados teores de fósforo, cálcio e micronutrientes, como zinco e manganês, baixa saturação por alumínio, baixos teores de ferro e elevada CTC.

Mesmo sob condições de temperatura e umidade elevadas, a exemplo da região amazônica, que favorecem a rápida mineralização de material orgânico e toxidez de

alumínio, as TPI's têm comportamento diferente da maioria dos solos da região (FALCÃO et al. 2010).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBSC) refere-se a tais solos apenas no 4º nível de classificação, indicando a presença de horizonte A antrópico, sem maiores detalhamentos quanto a seus processos formadores específicos (EMBRAPA 2013). Segundo a SBCS, as Terras Pretas são classificadas como Latossolos Amarelos Coesos Antrópicos, que são solos com horizonte A antrópico, ou seja, horizonte formado ou modificado pelo uso contínuo do solo pelo homem, como lugar de residência ou cultivo, por períodos prolongados com adições de material orgânico, ocorrendo, às vezes, fragmentos de cerâmicas e restos de ossos.

As terras pretas de índios foram formadas provavelmente, através de depósitos de materiais orgânicos e inorgânicos como resíduos de peixe, deposição de cinzas, dejetos humanos, restos de animais e de plantas, acredita-se que estes resíduos eram eliminados através da “queima controlada” originando o carbono pirogênico, que é responsável por conferir a estes solos elevados teores de matéria orgânica, menor capacidade de lixiviação e aumento de sua fertilidade (SOMBROEK 1966; FALESI 1972; SOMBROEK et al. 2002; FALCÃO et al. 2003)

O carbono pirogênico contribui para a fertilidade do solo, devido à sua composição e estrutura molecular (GOLCHIN et al. 1997; SHMIDT et al. 2002). As partículas de carbono que contêm material mineral promovem o aumento da fertilidade do solo, ajudando-o a superar condições desfavoráveis do clima nos trópicos úmidos. Recentemente, trabalhos realizados em escala nanométrica confirmam a presença de cálcio e oxigênio no interior das partículas de carbono das TPIs (ARCHANJO et al. 2014).

Devido as suas características físicas e químicas, a adição de carvão no solo proporciona uma menor perda de nutrientes por lixiviação, uma vez que os nutrientes na solução do solo são retidos fisicamente nos micro e mesoporos da superfície do carvão. Adicionalmente pode ocorrer também uma lenta oxidação biológica nas bordas dos esqueletos aromáticos do carvão, produzindo grupos carboxílicos e um conseqüente aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) (GLASER et al., 1998).

As terras pretas de índios da Amazônia, ou solos antrópicos da Amazônia, tem despertado o interesse de cientistas e pesquisadores do mundo todo como uma possível solução para a questão da agricultura sustentável em solos de baixa

fertilidade natural e bastante intemperizados que cobrem extensas áreas nos trópicos (GLASER et al. 2004; MADARI et al. 2004).

O estudo das terras pretas de índios pode contribuir para descobrir que tipo de práticas de manejo de solos e recursos que foram usados por povos amazônicos no passado, além do potencial, de nos fornecer valiosas lições sobre o potencial de fertilidade dos Latossolos nos trópicos, o que pode gerar dados que servirão de base para o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis de uso de solo (FALCÃO et al. 2003; LEHMANN et al. 2003).

Ao dispor das informações sobre a matéria orgânica das TPIs, contrariando os solos adjacentes, bem como sua alta fertilidade, uma das descobertas mais importantes para o manejo adequado do solo foi o fato de o mesmo possuir uma alta quantidade de biocarvão (carvão vegetal) derivando o carbono pirogênico (GLASER et al. 2001) e um dos elementos que mais chama atenção, devido à alta disponibilidade, é o fósforo, que pode estar relacionado à presença deste biocarvão no solo.

2.2. Fósforo em solos tropicais

O alto grau de intemperismo e os baixos teores de P disponível para as plantas caracterizam muito bem os solos tropicais, tornando-se o nutriente mais limitante no estabelecimento de culturas como descreve Rocha e colaboradores (2005), já que é de baixa mobilidade no solo (MARSCHNER, 2002; COSTA et al., 2009).

O P é encontrado em baixos teores em 90% dos solos da região seguidos pelo N e pelo K. Em solos agrícolas, os valores de P em solução estão, com frequência, entre 0,002 e 2 mg L⁻¹ de P, porém, há diferenças entre solos, quanto à eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, relacionadas com processos de adsorção (MALAVOLTA, 2006), que é uma forma de “perda” de fósforo, além do processo de adsorção, há ainda outras formas significativas de perda que são o escoamento superficial e a remoção pelas culturas (BRADY, 1983).

É um nutriente essencial para o metabolismo das plantas, principalmente para a fase de reprodução e fertilização. Sua concentração no tecido varia em torno de 0,2%, sendo maior na parte reprodutiva, especialmente nos grãos. Assim sendo, além de compensar as quantidades de P extraídas do solo pelas culturas, a aplicação desse insumo deve ser suficiente para compensar a imobilização desse elemento pelos

solos. Em outras palavras, no cálculo da adubação fosfatada não basta considerar-se apenas a retirada de P, mas também a taxa de recuperação desse nutriente, que dificilmente é superior a 50%, mesmo quando computado o efeito residual (SÁNCHEZ, 1976).

Um programa de adubação fosfatada tem que levar em conta o processo da fixação; o P deve ser aplicado de modo tal que a fixação seja reduzida a um mínimo. Desse modo será possível atender as necessidades da planta sem ter-se que usar quantidades excessivas do elemento as quais poderiam até se tornar antieconômico.

Sendo o P o macronutriente que mais limita a produção e a produtividade das culturas, os fertilizantes fosfatados solúveis são os mais utilizados na agricultura brasileira por apresentarem efeito em curto prazo, apesar de apresentar um custo mais elevado e terem baixo poder de efeito residual (MCLAUGHIN e SINGH, 1999; PROCHNOW et al., 2001)

O superfosfato triplo é obtido pelo tratamento de apatita ou fosforita com ácido fosfórico. Uma grande vantagem do superfosfato triplo é que nele as impurezas cálcicas se transformam também em fosfato monocalcico, permitindo a utilização de fosfato de rochas mais pobres em fósforo, porém, cuja as impurezas sejam predominantemente constituídas por compostos de cálcio. Devido ao fato de serem solúveis em água, os superfosfatos são os adubos fosfatados mais utilizado no mundo, seja em mistura, seja aplicado diretamente.

Apesar de esta ter se mostrado uma fonte de alta solubilidade, seu efeito residual é baixo, já que possui alta reatividade, formando logo em seguida compostos insolúveis ou de baixa solubilidade, por outro lado, Oliveira. (2012), relatou que o biocarvão de bambu à uma temperatura de 500 °C, fez com que o efeito residual do superfosfato triplo fosse aumentado num cultivo sucessivo de feijão - milho - feijão - milho.

No entanto, por fatores como a fixação do P no solo, a baixa eficiência agronômica, bem como o tempo pré-determinado de vida útil para as reservas de Fósforo, que é aproximadamente 40 anos, como descrito por Vance, Uhde-Stone e Allan (2003), é necessário processos que aumente a eficiência agronômica destes fertilizantes e conseqüentemente tornando a adubação fosfatada um processo menos oneroso, frente a esta necessidade.

Um das maneiras mais eficientes de se manejar o P no solo é a adição de calagem, gessagem e material orgânico, neste sentido Verheijen, 2010, descreve o biocarvão

como tal atuador, uma vez que, Novak e colaboradores 2009, em um experimento de colunas de solo, relataram que a aplicação de biocarvão aumentou significativamente retenção de P nos solos e diminuiu os níveis de P nas soluções coletadas.

2.3. Biocarvão

Biocarvão é um material sólido obtido a partir da conversão termoquímica de biomassa num meio limitado de oxigênio. A persistência do biocarvão em períodos de até 5.000 anos sob condições tropicais úmidas e taxas de mineralização altas se deve à estabilidade química causada por sua estrutura aromática, o que limita a ação dos microorganismos decompositores do solo (Swift et al., 1979; Seiler e Crutzen, 1980; Orjuela, 1989; Glaser et al. (2001) determinaram com ^{14}C a idade de 1000 a 2000 anos para carbono pirogênico encontrado em solos de Terra Preta da Amazônia brasileira.

Segundo Lehmann (2009) o biocarvão é “um material carbonáceo de granulometria fina com elevado teor de carbono orgânico e largamente resistente à decomposição (mineralização). É produzido pela pirólise de resíduos de biomassa e recebe esta designação quando é produzido especificamente para a aplicação ao solo com a função de gestão ambiental ou agrônômica”. Tem sido reconhecido por ser uma tecnologia emergente com o potencial de melhorar a segurança alimentar dos países em desenvolvimento, além de ser potencialmente utilizado no sequestro de carbono (C) para atenuar as alterações climáticas (LEHMANN e JOSEPH, 2009; MASEK et al., 2011).

Pode ser usado para uma variedade de aplicações como, um agente para o melhoramento dos solos, melhoria da eficiência do uso de recursos, remediação e/ou proteção contra a poluição ambiental e em particular como um mitigador para os gases de efeito de estufa (GEE) (IBI 2016).

Algumas opções como melhoria da eficiência energética; usos de energias renováveis; utilização de combustíveis de baixa emissão de C; captura e armazenamento de C e aumento de sumidouros biológicos, podem ser aplicadas nos processos de mitigação das alterações climáticas, porém, apenas os dois últimos são capazes de remover o CO_2 já existente, realizando um papel de “filtro”, sendo o restante das opções, vistas como redutoras ou preventivas de emissões futuras (MATOVIC, 2011).

No mais, a utilização direta do biocarvão ao solo, representa alto potencial para a Pesquisa e para a Agricultura, considerando seu papel como condicionador do solo, agindo no aperfeiçoamento nas características físicas, químicas e biológicas.

Dependendo da temperatura final de biocarbonização, o biocarvão pode apresentar diferente composição (TROMPOWSKY, et al., 2005). Em contraponto ao elevado teor de carbono, este material apresenta baixo teor de nitrogênio, o que resulta em uma elevada relação C:N. O oxigênio é o segundo elemento mais abundante e o seu teor está inversamente relacionado à temperatura final de carbonização praticada. Existem ainda as cinzas, que são formadas por elementos minerais oriundos principalmente de cascas. Nas cinzas, predominam o potássio, o cálcio, o fósforo e o sódio. A composição das cinzas é fortemente relacionada à química dos solos onde se desenvolveu a madeira original (BIRD et al. 1999).

Hamer et al. (2004) demonstraram que a estabilidade de biocarvão no solo é atribuído à sua fonte, pois relataram que o biocarvão de resíduos de milho à base centeio foi decomposto mais rapidamente que o biocarvão de madeira. Além disso, Spokas (2010) ilustrou a importância da relação O: C do biocarvão para determinar a sua estabilidade com base na sua meia-vida, assim, relatou que a meia-vida do biocarvão seria de mais de 1000 anos, quando esta relação é menor que 0.2 e menor que 100 anos quando a relação é maior que 0.6.

A fração mais fina do biocarvão (menor que 2mm), obtido no processo de peneiramento na classificação, tem uma estrutura altamente porosa, já que, no processo de biocarbonização, a água e os compostos voláteis contidos na madeira são eliminados, deixando espaços vazios. Cerca de 70 a 80% do volume do biocarvão é formado por poros, o que favorece a baixa densidade ($0,3$ a $0,4 \text{ kg dm}^{-3}$), podendo ser aumentada quando incorporado ao solo, aumentando a porosidade, a capacidade de reter água e facilitar a proliferação de microrganismos benéficos (TSUZUKI, 2000).

Miyasaka et al., (2001), recomenda que o produto pode ser melhor aproveitado se utilizado na forma de pó, na granulação de 2,0 a 5,0 mm, de preferência umedecido com uma solução de extrato pirolenhoso a $20 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$ e ser aplicado no solo, na base de 500 a 700 g m^{-2} , uma semana antes da semeadura ou plantio do cultivo de interesse.

A estabilidade deste material, quando aplicado ao solo, se deve à composição e a estrutura química, formada por uma estrutura policíclica aromática com alto grau de condensação, que confere alta estabilidade no solo, como relatados por Gouveia et

al., (1999), que observaram em estudos de datação de fragmentos de carvão encontrados em solos de TPI, que não é raro encontrar amostras com milhares de anos. Este fenômeno pode estar ligado à sua estrutura porosa, o que favorece trabalhos relacionados a microbiota do solo, demonstrando que estes fragmentos de carvão nos solos de TPI são utilizados como micro-habitat para organismos (BENITES et al. 2005a) o que favorece ainda o estabelecimento de culturas, no processo de construção da fertilidade.

O biocarvão pode ser produzido com a parte fina do carvão da madeira e também de resíduos, como os ouriços da Castanheira da Amazônia, que ficam acumulados no meio da floresta após a extração e ainda nos monocultivos, já que não possuem destino certo, sendo fonte de contaminação para a safra seguinte.

Os resíduos gerados, se não forem devidamente gerenciados, pode causar sérios problemas ambientais tais como (i) água indesejada e a contaminação do solo por patógenos (GERBA e SMITH 2005); contaminantes orgânicos (Por exemplo, nitrato (MELO JUNIOR et al 2006); e (ii) as emissões de gases de efeito estufa (por exemplo, N_2O e CH_4) (SMITH et al. 2008), o que reforça a ideia de utilização deste material no solo, mesmo que a princípio, seu papel seja como condicionador, agindo mais efetivamente na física do solo, porém, ao longo do período ele possa agir na química do solo.

Por ser um material inerte, o biocarvão é dependente de geração de cargas para que possa agir efetivamente na CTC, por meio de funcionalização, ou seja, por meio da oxidação da superfície (Prost, et al, 2013) e este pode ser intensificado pelo processo de compostagem (INSAM e BERTOLDI, 2007)

2.3.1. Biocarvão como condicionador do solo

Biocarvão possui potencial para ser utilizado em uma gama de aplicações e especialmente na agronomia tem demonstrado aumentar a fertilidade do solo e reduzir a lixiviação de nutrientes, melhorando assim a produção agrícola em solos de textura grossa, o que pode ser comparado aos Latossolos brasileiros (VERHEIJEN et al. 2010; UZOMA et al. 2011).

Ademais é um material com taxa de mineralização mais lenta do que a matéria prima, o que lhe dá alto grau de estabilidade (SPOKAS et al. 2009). Isso faz com que

o biocarvão seja uma atraente opção de seqüestro de carbono, além de seu potencial para melhorar a qualidade do solo e minimização da emissão de poluentes ambientais (CLOUGH e CONDRON 2010).

A rede de poros do solo pode ser afetada pela porosidade inerente do biocarvão bem como as suas outras características, de várias maneiras. A distribuição e o tamanho das partículas do biocarvão, a resistência mecânica e interação das partículas do biocarvão no solo são fatores determinantes que levam a resultados diferentes para diferentes combinações de solo, clima e gestão. A hidrologia do solo pode ser afetada pelo bloqueio parcial ou total dos poros do solo pela menor fração de partículas do biocarvão, diminuindo a taxa de infiltração de água (BECK et al. 2011).

A aplicação de biocarvão ao solo, apresenta grande potencial em reduzir a acidez do solo e consequentemente alterar a complexação com metais (Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+}), o que se torna chave para o entendimento nos processos de sorção e dessorção de P, bem como para determinar sua disponibilidade (WANG et al, 2012; YUAN et al, 2011a, b). Podendo ainda, funcionar como um adsorvente direto de cátions tais como Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+} , resultando em adsorção P retardada ou precipitação no solo.

Esta capacidade é diretamente ligada à alta superfície externa e pela alta quantidade de micro poros, que retém água por capilaridade, o que favorece a melhoria na porosidade total do solo bem como, age no aumento da disponibilidade de água para as plantas, resultando em benefícios no desenvolvimento das culturas (KARHU et al. 2011).

Cui et al (2011), comprovaram que em condições de laboratório, o biocarvão reduziu a sorção de P. Tal prática, em estudos realizados por Lehmann et al. (2003) e De Luca et al. (2009), teria aumentado a disponibilidade de P bem como do P disponível e para o crescimento das plantas, independente da temperatura utilizada para produção de biocarvão.

A alta reatividade das superfícies das partículas do biocarvão nos solos é parcialmente atribuída a presença de uma serie de grupos funcionais reativos, sendo alguns dependente de pH (COHEN-OFRI et al, 2007; CHENG et al, 2008. As proporções dos grupos funcionais ácidos possuem grande importância na sorção de componentes orgânicos e inorgânicos.

Biocarvões produzidos a baixas temperaturas mostraram superfície com maior concentração de grupos orgânicos ácidos do que aqueles produzidos a altas

temperaturas (SINGH et al. 2010) as principais reações dos grupos oxigenados ácidos de superfície (carboxílicos, fenólicos e alquílicos) que favorecem o aumento da disponibilidade de P no solo são a competição por sítios de adsorção, precipitação com cátions livres em solução (principalmente Al e Ca) e redução do ponto de carga zero dos óxidos de Fe e Al e minerais 1:1 (HAYNES, 1984; GUPPY et al. 2005).

Um indicador que torna o uso do biocarvão interessante do ponto de vista agrônomo é a CTC e CTA do material. A adição deste material pode elevar a CTC dos solos, principalmente dos altamente intemperizados, porém depende do tipo de biocarvão. Devido a falta de métodos padronizados para determinar a CTC do biocarvão, torna-se difícil comparar a CTC dos biocarvões provenientes de matérias primas e temperaturas diferentes. Em alguns casos o aumento da temperatura diminui a CTC (GASKIN et al, 2008), porém outros revelam que o aumento da temperatura eleva a CTC (SINGH et al. 2010). Biocarvões produzidos a baixas temperaturas mostraram ter alto grau de grupos funcionais de superfície oxigenados (representados pela acidez total), o que resulta em aumento da CTC (GASKIN, 2008).

Considerando a nutrição das plantas, Falcão e Borges (2006) descrevem que altos teores totais de P, Ca, Mg e Zn, podem sofrer interações e não transmitir alta disponibilidade para as plantas, podendo desta forma, o uso do biocarvão servir como um auxiliador no equilíbrio destas interações, disponibilizando nutrientes retidos para a solução do solo, isso porque atua no complexo de trocas como um colóide retendo nos micro e mesoporos de superfície (GLASER et al. 1998). Associado a adubos orgânicos e/ou minerais, o biocarvão os retém nos grupos carboxílicos e fenólicos carregados negativamente, diminuindo a lixiviação e melhorando a eficiência dos adubos (LIMA et al. 2013).

Diante dos inconvenientes da adubação fosfatada e da inconsistência sobre o efeito do biocarvão na disponibilidade de P, já que os mecanismos ainda não foram totalmente compreendidos (Lehmann, 2007a, b), principalmente quando se trata de solos que tenham recebido culturas perenes como é o caso da Castanheira do Brasil (*Bertholetia excelsa*), faz-se necessário o estudo com estas culturas no sentido de gerar novas informações para produção de alimentos, bem como para o processo de recuperação de áreas degradadas, tendo a castanheira como uma das espécies mais promissoras para tal processo além de haver possibilidade de geração de renda para os produtores da região.

2.4. Castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K)

A pressão ambiental, em relação ao aumento de áreas desmatadas na região amazônica, impulsiona o esforço em conseguir alcançar soluções para a redução de abertura de novas áreas para produção agrícola. Deste modo, a pretensão seria utilizar em áreas desmatadas, tecnologias que otimizem os sistemas de produção com práticas agrícolas corretas como a aplicação racional de corretivos e fertilizantes, para elevação da produtividade das culturas a níveis economicamente satisfatórios, de modo que permita a intensificação do uso das áreas cultivadas e redução da pressão sobre a floresta (Brasil e Cravo, 2009), bem como recuperar estas áreas degradadas com espécies perenes que tragam retorno econômico como a é o caso da Castanha do Brasil.

A castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.), é também conhecida como castanha verdadeira, castanheiro, castanha do Pará, castanha da Amazônia, castanha do Maranhão e castanha do Brasil e pertence à família *Lecythidaceae*. É uma planta nativa da Amazônia e uma das mais importantes espécies de exploração extrativista, possuindo grande porte, podendo medir até 60 m de altura, com diâmetro de 100 a 180 cm (DONADIO, 2002). O período mais crítico para as castanheiras é a fase de plântula. Para esta, quando apresenta tamanho menor que 35 cm, a taxa de sobrevivência é de 50%, enquanto que acima de 70cm, essa taxa salta para 100% (SCOLES et al., 2011).

A castanheira é uma espécie encontrada em solos com baixos teores de nutrientes, desestruturados, bem drenados podendo ser argilosos ou argilo arenosos, adaptadas às terras firmes e altas, crescendo naturalmente em clima quente e úmido, com precipitação média entre 1500 a 2800 mm/ano e com grande período sem água (PENNACCHIO, 2006). Homma (2004) cita que a exploração de castanha do Brasil, tornou-se a principal atividade econômica na região amazônica, desde o declínio da exploração de borracha. Esta atividade vem sustentando milhares de extrativistas e toda uma oligarquia decorrente dessa riqueza.

Estima-se que a produção dos resíduos de ouriço de castanha seja elevada, pois considerando-se que cada ouriço tenha um peso médio de 2,4 kg, sendo aproximadamente 1,0 kg de castanhas limpas e 1,4 kg de resíduos (biomassa residual), incluindo as cascas da castanha bruta.

Além da potencialidade da espécie para produção de frutos, pode também ser utilizada em reflorestamento. No entanto, o reflorestamento com castanheira-do-Brasil é ainda pequeno, devido principalmente aos custos de produção, sendo o substrato um dos principais componentes deste custo. No estado do Amazonas os produtores de mudas, utilizam, em geral, o horizonte orgânico (camada de 0-15 cm de profundidade) dos solos recobertos por mata de capoeira ou floresta primária (chamado localmente de terriço), para a preparação do substrato em viveiros.

2.4.1. Taxonomia

Humboldt e Bonpland (1887) propuseram a seguinte classificação taxonômica para a Castanha-do-brasil:

Reino:	Plantae
Divisão:	Magnoliophyta
Classe:	Magnoliopsida
Ordem:	Ericales
Família:	Lecythidaceae
Gênero:	Bertholetia
Espécie:	<i>Bertholetia excelsa</i> .

É uma espécie arbórea de grande porte, com copa dominante, fuste reto e cilíndrico, apresentando casca fendilhada de coloração pardo acinzentada. Apresenta sistema radicular pivotante, profundo, com raízes secundárias muito abundantes e desenvolvidas, suas folhas apresentam pecíolo de 5 a 6 cm de comprimento, forma de calha, lâmina coriácea de base aguda e margens onduladas entre 25 a 35 cm de comprimento e 8 a 12 cm de largura. A inflorescência é uma panícula de espigas de flores zigomórficas com 2 a 3 sépalas e 5 pétalas, ovário ínfero com 3 a 6 lóculos e 16 a 25 óvulos na base do septo. O fruto é um pixídio de forma esférica e subglobosa, com massa de 1 kg em média (CAVALCANTE 1976; LEÃO et al., 2005).

Caracterizada por ser uma planta “social”, é uma espécie semidecídua, heliófila e frequentemente encontrada em mata alta de terra firme, ocorrendo em determinados locais com grande frequência, chamados de “castanhais” (LORENZI 2000). A castanheira-do-Brasil tem estratégias para desenvolver-se em regiões de clima

quente e úmido, sendo que as maiores concentrações da espécie ocorrem em regiões onde predominam os tipos climáticos tropicais chuvosos, com a ocorrência de períodos de estiagem definidos (MULLER et al. 1995).

2.4.2. Silvicultura e reflorestamento

A castanheira-do-Brasil produz sementes oleaginosas de boa qualidade ricas em proteínas e tem a madeira considerada de excelente qualidade para a indústria da construção naval e civil produzindo ótimos esteios para obras (LOUREIRO et al., 1979). Esta árvore apresenta alto potencial na produção de frutos e pode também ser utilizada em reflorestamento, com rotações estimadas entre 30 e 40 anos e estimativas de produção de madeira acima de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (YARED et al., 1990). A rusticidade, crescimento relativamente rápido e características adequadas da madeira tornam-na uma das espécies mais importantes para programa de reflorestamento na Amazônia (YARED, 1993).

Segundo Locatelli et al. (2005), em sistemas agroflorestais as plantas consorciadas apresentam fuste, copa e bifurcação com características comerciais boas, sendo um fator importante para espécies implantadas em consórcios. A castanha-do-brasil é uma espécie promissora para a formação de sistemas agroflorestais e um importante componente para reabilitação de áreas abandonadas e degradadas na Amazônia Central (COSTA et al., 2009).

Nos plantios racionais ou plantio econômico, ou seja, com finalidade de uma exploração agrícola, ela podem ser cultivada em agrossistemas como os consórcios agroflorestais, monocultivos ou sistemas silvipastoris (BENTES- GAMA et al., 2005; TONINI et al., 2008; SOUZA et al., 2008 e SILVA JUNIOR et al., 2012).

Numa perspectiva histórica a espécie em questão é domesticada há alguns séculos pelos povos indígenas, sendo encontrados grandes castanhais em Terra Preta (CLEMENT et al., 2015). Entretanto, dada as suas características excêntricas, existe uma enorme dificuldade de promover crescimento em cultivo convencional. Na literatura especializada (Fernandes e Alencar, 1993;Vieira et al., 1998; Bentes- Gama et al., 2005; Tonini et al., 2008; Souza et al., 2008) faz menções a sistemas de produção (consórcios e monocultivos) e há outras com algumas recomendações gerais de substratos que pouco tem contribuído para alavancar o crescimento dessa

espécie a baixo custo e menor tempo em condições de campo (MÜLLER et al., 1995; SHANLEY et al., 2005; COSTA et al., 2009; LOCATELLI et al., 2010).

A castanha-do-brasil deve ser considerada como espécie-chave para unir conservação e desenvolvimento, por ser abundante na região Amazônica, colhida quase que exclusivamente em florestas naturais, ser explorada por diversas comunidades no curto prazo e a baixo custo, por apresentar sólida demanda de mercado, além de a coleta ser de baixo impacto ambiental (ZUIDEMA e BOOT, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA, AM (Figura 1). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (5x5) com cinco doses crescentes de biocarvão de ouriços de castanha (0, 20, 40, 60 e 80 t ha⁻¹), produzido sob temperatura de 500 °C e cinco doses crescentes de P₂O₅ (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹), tendo como fonte o Superfosfato triplo com 41% de P₂O₅, totalizando 25 tratamentos com 4 repetições, resultando em 100 unidades experimentais. Foi aplicada uma adubação complementar com 888 kg ha⁻¹ de ureia (400 Kg ha⁻¹ de N= 4,44 g/vaso); 888 kg ha⁻¹ de KCl (532,8 kg ha⁻¹ de K₂O = 4,44 g/vaso) e 80 kg ha⁻¹ de FTE = 0,4g/vaso), todas de forma parcelada. Desta forma adicionou-se 0, 200, 400, 600 e 800 g/vaso de biocarvão e 0, 2,43; 4,87; 7,31 e 9,75 g/vaso de SFT.

O solo foi coletado da camada de 20-40 cm de profundidade de uma área de capoeira com mais de 30 anos de idade (Figura 2). No laboratório as amostras de terra foram transformadas em Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), passadas em peneiras com malhas de 2,00 mm de diâmetro. Uma parte foi analisada quanto aos atributos químicos e a outra parte foi acondicionada em vasos plásticos com capacidade para 20 L, preenchidos com 20 kg de solo, sendo os tratamentos todos homogeneizados com o biocarvão e fertilizantes minerais.

O solo foi um Latossolo Amarelo distrófico típico, textura argilosa (Sombroek, 1966) com as seguintes características: pH_{ClCa} (3,60), Ca²⁺ (6,00 mmol_c dm⁻³), Mg²⁺ (2,00 mmol_c dm⁻³), Al³⁺ (9,00 mmol_c dm⁻³), H+Al (31,00 mmol_c dm⁻³) K⁺ (1,33 mmol_c dm⁻³), CTC (39,00), V% (22,00), P (3,00 mg dm⁻³), S (47,00 mmol_c dm⁻³), Fe (251,40 mg dm⁻³), Zn (1,13 mg dm⁻³) e Mn (0,57 mg dm⁻³), determinadas pelo método da Resina.

Figura 1. Área experimental



Figura 2. Área de retirada do solo.

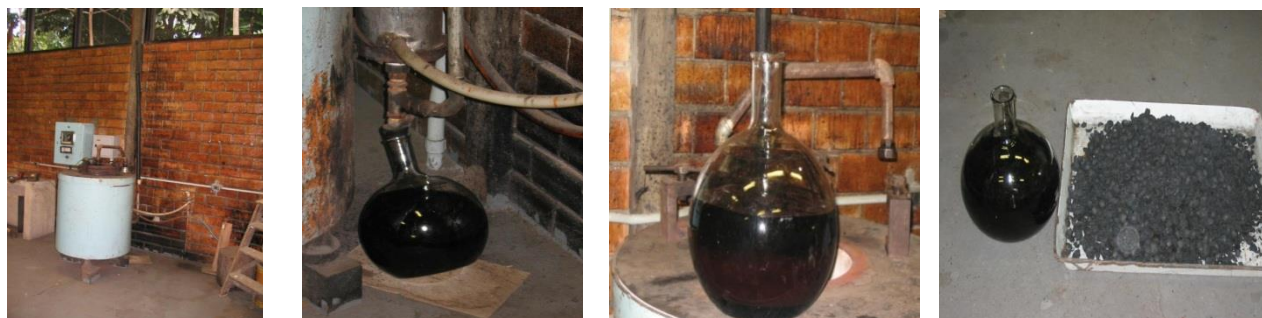


As mudas foram concedidas pela Fazenda Aruanã, Município de Itacoatiara, padronizadas por idade entre 6 e 7 meses, de modo a esgotar o máximo possível a reserva de nutrientes contida na semente, evitando com isso mascarar o efeito dos tratamentos na nutrição das plantas, que foram transportadas e implantadas nos substratos dos tratamentos já descritos.

3.2 Produção e análise do biocarvão

O biocarvão foi obtido a partir da biocarbonização da biomassa seca de ouriços de castanha da safra de 2014, em retorta localizada na Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais-CPPF do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA, sob temperatura de 500 °C. Por ser um equipamento antigo, a temperatura de 500 °C era atingida após 2h30 com tempo de residência de 12 horas, pois o equipamento resfria em temperatura ambiente. Este foi triturado manualmente com auxílio de um pedaço de madeira maciça e passado em peneira de 2mm (Figura 3).

Figura 3. Processo de produção de biocarvão no CPPF do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.



Foi realizada análise de modo que se obtivesse concentrações totais, foram ainda determinados características como umidade e teor de cinzas, com o biocarvão sendo passado em moinho de facas com peneira de 1mm. Para determinação da umidade, uma massa de biocarvão (1,0000 +/- 0,0001 g) foi seca em estufa a 105 °C por 24 horas e resfriada em dessecador a temperatura ambiente. As amostras foram pesadas e calculadas conforme a equação:

$$U = \frac{M_{seca}}{M_{úmida}} \times 100$$

Para determinação da quantidade de cinzas utilizou-se uma mufla (QUIMIS). A amostra em triplicata de ouriço de castanha foram calcinadas por 3 horas e meia, sendo posteriormente, pesadas em balança analítica e o cálculo das cinzas realizado conforme apresentado na equação

$$\%cinzas = [(D - B)/(C - B)] \times 100$$

Sendo: B= massa do cadinho calcinado (g); C= massa do cadinho com a amostra inicial em base seca (g); D= massa do cadinho com cinzas (g)

3.3 Coleta e análise de material vegetal e solos

As plantas foram coletadas no décimo segundo mês após o início do experimento visando a determinação das concentrações de P, K, Ca, Mg, Zn, Mn e Fe após digestão nitro-perclórica. A determinação analítica das concentrações de fósforo foi por colorimetria, enquanto que as de cálcio, magnésio, potássio, zinco, manganês e ferro foram por espectrometria de absorção atômica. O nitrogênio foi determinado por método semimicro Kjeldahl após digestão sulfúrica (MALAVOLTA et al., 1997).

O solo foi coletado no décimo segundo mês na forma de triângulo em todos os vasos, as amostras foram quebradas e homogeneizadas com auxílio de rolo de madeira, tamisadas em peneira de malha de 2mm e, em seguida, submetidas às determinações a seguir. O pH foi determinado, em CaCl_2 0.01 mol L⁻¹, na relação 1:2,5 (solo: solução-m/v) de acordo com Raij et al. (2001). As determinações de carbono e nitrogênio totais em analisador elementar automático modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®.

O princípio das análises de C e N em analisador elementar baseia-se na combustão da amostra em elevadas temperaturas (900-950 °C), associada a um influxo de gás oxigênio. Todo o carbono é convertido em CO₂ e o nitrogênio em óxidos (NO_x). O CO₂ é mensurado em um detector infravermelho, ao passo que os óxidos de nitrogênio sofrem um processo de remoção de oxigênio, formando gás N₂. O nitrogênio é então quantificado através de condutividade térmica (LECO CORPORATION, 2011).

Os nutrientes: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram extraídos por resina trocadora de íons e determinados por colorimetria (P), fotometria de chama (K) e absorção atômica (Ca, Mg) (Raij et al., 2001). Para quantificação do enxofre (S) realizou-se extração com fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹ e determinação por turbidimetria (Vitti, 1989). O Al³⁺ foi extraído por KCl 1 mol L⁻¹ quantificados em absorção atômica. A acidez potencial do solo (H+Al) foi determinada pelo método tampão SMP (Shoemaker; McLean; Pratt, 1961) enquanto a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 foi calculado pela soma de cátions trocáveis (K, Ca e Mg) e conteúdo de H+Al. O valor da saturação de bases foi obtido pela divisão da soma de bases de cátions trocáveis pela CTC e multiplicado por 100.

Os micronutrientes ferro (Fe, Zn e Mn) foram extraídos pelo DTPA, de acordo com o proposto por Lindsay e Norvell (1978) e quantificados por espectrometria de absorção atômica.

O fósforo total foi extraído de acordo com a método proposto por Hedley et al. (1982) que tem como princípio a determinação de formas de fósforo ligadas ao solo

como P-solúvel, P-Al, P-Fe, P-Ca e o P-ocluso, com algumas modificações propostas por Codron et al. (1985) e leitura em ICP.

3.4 Avaliações biométricas

A avaliação da altura das plantas (distância entre o colo da planta até a inserção da última folha), foi realizada utilizando-se uma régua graduada; o diâmetro do caule, a 2,00 cm do colo da planta, foi realizado utilizando-se um paquímetro graduado em milímetros a cada três meses; e, após a realização da última leitura experimental (décimo segundo mês), as mudas foram retiradas dos substratos. Foram, então, pesadas, em balança digital, para a obtenção do peso fresco, e, logo após, este material foi levado para uma estufa, a 70°C, por 96 horas, para obtenção da massa seca.

3.5 Análise dos resultados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e posterior análise de regressão, ajustando-se as equações aos dados obtidos em função das doses para cada experimento. Foi adotada como critério na escolha do modelo a interação pelo teste F significativo a 5% e 1%, com auxílio do programa estatístico R.

3.6 Descrição dos tratamentos

Trat.	Biocarvão			Superfosfato triplo				
	T ha ⁻¹	%	g / vaso	Kg ha ⁻¹ de SFT	Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Kg ha ⁻¹ de P	ppm de P ha ⁻¹	g / vaso de SFT
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	243,9	100	43,6	21,8	2,4
3	0	0	0	487,8	200	87,3	43,7	4,9
4	0	0	0	731,7	300	130,9	65,5	7,3
5	0	0	0	975,6	400	174,6	87,3	9,8
6	20	2	200	0	0	0	0	0
7	20	2	200	243,9	100	43,6	21,8	2,4
8	20	2	200	487,8	200	87,3	43,7	4,9
9	20	2	200	731,7	300	130,9	65,5	7,3
10	20	2	200	975,6	400	174,6	87,3	9,8
11	40	4	400	0	0	0	0	0

12	40	4	400	243,9	100	43,6	21,8	2,4
13	40	4	400	487,8	200	87,3	43,7	4,9
14	40	4	400	731,7	300	130,9	65,5	7,3
15	40	4	400	975,6	400	174,6	87,3	9,8
16	60	6	600	0	0	0	0	0
17	60	6	600	243,9	100	43,6	21,8	2,4
18	60	6	600	487,8	200	87,3	43,7	4,9
19	60	6	600	731,7	300	130,9	65,5	7,3
20	60	6	600	975,6	400	174,6	87,3	9,8
21	80	8	800	0	0	0	0	0
22	80	8	800	243,9	100	43,6	21,8	2,4
23	80	8	800	487,8	200	87,3	43,7	4,9
24	80	8	800	731,7	300	130,9	65,5	7,3
25	80	8	800	975,6	400	174,6	87,3	9,8

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do biocarvão.

O rendimento da biocarbonização de ouriço de castanha foi de 59% para o biocarvão, 33% de ácido pirolenhoso e de 2% para alcatrão, em uma temperatura de 500 °C. De uma maneira geral, grande parte das matérias primas utilizadas para produção de biocarvão, apresentam rendimento de no máximo 40%, dependendo da temperatura e do teor de lignina que é proporcional ao rendimento. O alto rendimento de biocarvão mostra que esta matéria prima apresenta grande potencial para utilização não somente pelos produtores, como também pela população tradicional que vive do extrativismo, evitando com isso, o descarte deste material, em áreas que podem contribuir para a proliferação de insetos vetores de diversas doenças tropicais.

Galinatto et. al. (2011) avaliando o potencial econômico do biocarvão na cultura do trigo de inverno, desde a produção e utilização como condicionador de solo até as estimativas de estoque de C, concluíram que dependendo do preço de mercado do produto, o biocarvão pode ter rentabilidade, podendo ainda, entrar no mercado de compensação de carbono.

O teor de cinzas do ouriço de castanha e a umidade foram 2,9% e 6%, respectivamente. Segundo Demeyer et al., (2001) e Barros (2006) um bom biocarvão deve estar numa faixa de 3% e 4% de cinzas e menos de 8% de umidade, demonstrando que as características aqui obtidas estão com o valor médio dentro da faixa adequada. A capacidade de adsorção, devido aos baixos teores de cinzas, pode ser influenciada positivamente, devido à volatilização do material orgânico (RAMOS et al., 2009; CISNERO e GONZÁLES, 2010).

Segundo Cruz Júnior (2010), a composição básica de cinzas de ouriços de castanha é composta por potássio K_2O (30,8 %), CaO (17,1 %), SiO_2 (15,6 %), Fe_2O_3 (13,6 %), S, P, Mg, Al, Na, Mn, Ti, Cl, Ni e alguns metais em baixos teores. Na tabela 1, observa-se os atributos químicos de ouriços de castanha biocarbonizado sob temperatura de 500 °C. Podemos observar pelas características químicas apresentadas que esse material não deve ser considerado uma fonte de fertilizante, mas sim um condicionador do solo, uma vez que quando utilizado isoladamente, influencia muito mais na estrutura do solo, melhorando a retenção de água, a aeração,

o crescimento do sistema radicular e a atividade biológica do solo. Lehmann, et al. (2003b) e Van Zwieten, et al. (2010), atribuíram o maior crescimento das plantas às mudanças positivas na biogeoquímica do solo resultante das adições de biocarvão.

Tabela 1. Características químicas do biocarvão de ouriço de castanha produzido à 500 °C.

Material	pH	C/ N	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Biocarvão a 500 °C	CaCl 2		-----			g kg ⁻¹	-----			-----		mg kg ⁻¹	-----	
	9,1	62	7	0,6	23	6	2,4	1,4	41	28	575	264	25	159

Em geral, quanto maior a temperatura, maior será o pH, teor de cinzas, estabilidade do carbono, aromaticidade de biocarvão, porosidade e área de superfície específica (WU et al., 2012; ZHAO et al., 2013; ZHANG et al., 2015b).

A condutividade elétrica aumenta ligeiramente com aumento da temperatura até certo patamar (500 °C), onde começa a diminuir consideravelmente (HOSSAIN et al., 2011). A forma de produção é altamente relevante, pois, está diretamente ligada a característica do subproduto (biocarvão), neste trabalho obteve-se o subproduto por meio de pirólise lenta.

Ringer et al (2006) relatam que em condições de pirólise lenta, o rendimento é de cerca de 35% de biocarvão, 30% bio-óleo (ácido pirolenhoso e alcatrão) e 35% gás e Wright et al (2008) descrevem menores rendimentos de biocarvão na pirólise rápida em comparação à pirólise lenta, uma vez que esta gera cerca de 15% de biocarvão, 70% de bio-óleo e 13% de gás.

Tomando como referência o teor de N total encontrado em compostos orgânicos, o valor encontrado no biocarvão utilizado neste trabalho, foi considerado “baixo”, bem como as concentrações de P, Ca, K e Mg porém, estes são fortemente influenciados pela temperatura, de modo que o aumento da temperatura diminui as concentrações, além disso o aumento da temperatura também proporciona o aumento de elementos-traço que estejam presentes como Fe, Cu, Mn, Zn e Cd, no entanto, a biodisponibilidade para a planta é muito baixa e estas concentrações são diminuídas

com o aumento da temperatura, pela mudança das suas formas químicas durante o processo, no entanto, as concentrações de Fe Mn foram elevadas.

Os teores de P encontrados no ouriço de castanha foram baixos quando comparados a outros materiais a exemplo de biocarvão de casca de arroz com 4,7 mg P (Qian et al., 2013), o de *Miscanthus Giganteus* com 2,5 mg P (Monterumici et al., 2015), e de bagaço de cana com 6,1 mg de P (Yin et al., 2013).

As características nutricionais do biocarvão variam em função do material utilizado na pirólise, porém na maioria dos casos há aumento do pH, da CTC, dos teores de macro e micronutrientes (HOSSAIN et al., 2011; JEFFERY et al., 2011; AGRAFIOTI et al., 2013; YUAN et al., 2013; MASEK et al., 2013).

Segundo Silvério e Barbosa (2008), a pirólise é o processo onde parte da biomassa é transformada em carbono e a outra parte é oxidada e hidrolisada originando fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos (ROCHA et al., 2004). O potencial agrônomo do biocarvão agindo como fonte de alguns nutrientes é muito variável e está relacionada às características químicas do material de origem (Mukome et al., 2013), desta forma, a utilização do biocarvão que tenham baixa disponibilidade de nutrientes e de forma isolada, pode ser arriscada e ineficiente para o desenvolvimento das culturas, dependendo das condições do solo em que se trabalha (Lima et al., 2013, 2015) e das exigências nutricionais das culturas com as quais se trabalha.

Para espécies perenes, os parâmetros biométricos são altamente relevantes, mostrando o potencial da cultura ao longo dos anos e como a utilização do biocarvão pode ser útil em processos de impedimentos no avanço da abertura de novas áreas, bem como a recuperação de áreas e ainda sobre as exigências de culturas importantes como a Castanheira do Brasil.

4.2 Efeitos dos tratamentos nos parâmetros de crescimento

As mudas de castanheira, inicialmente mostraram uma tendência no aumento do peso da matéria seca da parte aérea com aplicação somente de biocarvão. Quando se aplicou 20 t ha⁻¹ de biocarvão o peso foi elevado, sem, contudo, mostrar grande variabilidade e decrescendo com o aumento das doses de biocarvão (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito de diferentes níveis de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre o peso da matéria seca da parte aérea (g) aos 365 dias após o plantio.

Biocarvão (t ha ⁻¹)				
0	20	40	60	80
25,53 ab	29,29 a	27,77 ab	21,49 ab	19,95 b

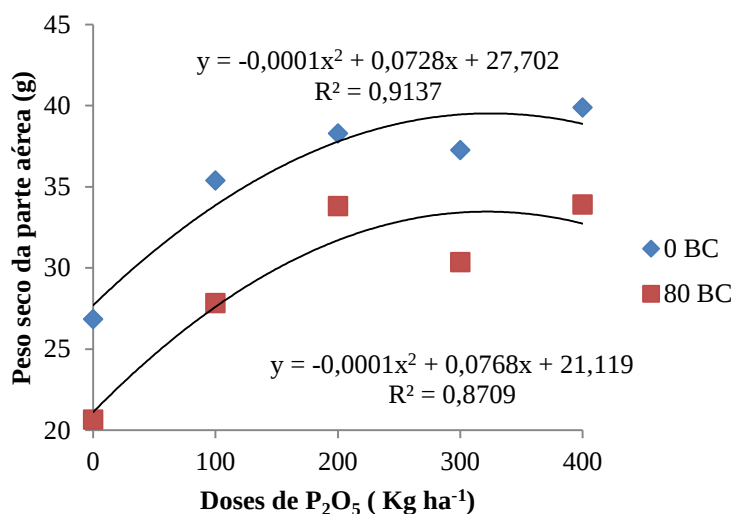
Um dos motivos para esta resposta pode estar relacionado ao elevado potencial de adsorção de nutrientes pelo biocarvão aplicado. Simões et al. (2015), estudando a influência de macronutrientes (NPK) juntos e isolados em mudas de Castanheira-do-brasil, observaram que os maiores valores de altura de plantas (AP) foram encontrados quando aplicado os nutrientes combinados, entretanto, a matéria seca das raízes (MSR) também foi mais favorecida somente com a adubação fosfatada. A sobrevivência das mudas de castanheira está ligada fortemente ao seu sistema radicular na fase de viveiro, sendo que o P é o nutriente que mais influencia no crescimento das raízes (GOMES e PAIVA, 2011).

A Análise da Regressão (Figura 4) mostrou que houve uma tendência ao aumento de forma semelhante, na ausência e presença da dose máxima de biocarvão em função das doses de P₂O₅, no entanto, a dose máxima de biocarvão refletiu em menores valores de Peso da matéria seca da parte aérea.

Glaser et al. (2002) e Petter et al. (2012), o uso isolado do biocarvão não promove efeitos positivos na fase inicial para espécies florestais, principalmente para plantas de crescimento lento, por isso deve-se considerar sua interação com fertilizantes minerais, e ainda o fato de se desenvolver substrato para produção de mudas desta espécie, uma vez que o substrato desta consiste em serapilheira de floresta, conhecido regionalmente como “paú”.

Contudo, TapiaCoral et al (2005), avaliaram estoques de carbono e nutrientes na camada de serapilheira em sistemas agroflorestais de 10 anos e observaram que as castanheiras que se encontravam em serapilheira com melhor qualidade nutricional, tiveram maior crescimento em altura e atribuíram às quedas das folhas e aos adubos verdes (*Gliricidia sepium* e *Inga edulis*) que foram indicados como fonte de N, K e Ca e as capinas que eram feitas junto com os adubos verdes podem ter servido como fonte de P.

Figura 4. Peso da matéria seca da parte aérea em função das doses de P_2O_5 , na ausência e na dose de 80 t ha⁻¹ de biocarvão.



Por outro lado, Camargos et al. (2002) trabalhando com castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) em solução nutritiva, observaram que nos tratamentos com omissão de P e S, obteve-se maiores produções de massa seca total. Em experimento com omissão de nutrientes em acácia (*Acacia holosericea*), Sarcinelli et al. (2004) também observaram maior produção de massa seca total na omissão de P e da mesma forma atribuíram ao fornecimento satisfatório do nutriente na fase de adaptação com solução completa.

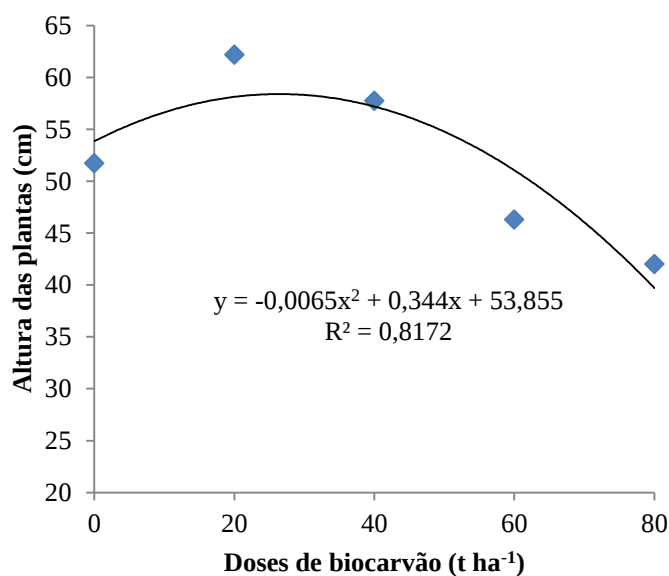
Nunes (2010), analisando diferentes concentrações de biochar ao substrato (0%, 10%, 30%, 50% e 70%), verificou que tanto a matéria seca da parte aérea quanto das raízes foram favorecidas por concentrações intermediárias (30 e 50%) em solo argiloso.

Gonçalves et al. (2012) trabalhando com mudas de Angico, verificou ausência de diferenças no crescimento e relacionaram à característica da planta que possui pouca exigência quanto aos requerimentos nutricionais. Características essas que fazem parte do ciclo de vida de espécies florestais amazônicas, que as tornam plantas resistentes às condições de baixa fertilidade de solos e favorecem seu desenvolvimento e adaptabilidade a diferentes regiões (LORENZI, 2008). O mesmo autor relata que trabalhando com Mogno em solos da Amazônia, o suprimento maior de P, proporcionou maior crescimento das plantas, o que não ocorreu neste trabalho, talvez pela presença do biocarvão.

Altura das plantas

Os dados de crescimento das plantas mostraram que quando se analisou a altura das plantas em função da idade, os efeitos dos tratamentos não foram significativos, exceto a última medição (12 meses) onde o crescimento das plantas apresentou uma resposta significativa, porém de forma negativa com aumento das doses de biocarvão independente das doses de P (Figura 5), sugerindo, que próximos trabalhos com Castanheira sejam realizados com aplicação de uma faixa entre 0 e 40 t ha⁻¹ de biocarvão.

Figura 5. Altura das plantas (cm) aos 12 meses em função das doses de Biocarvão

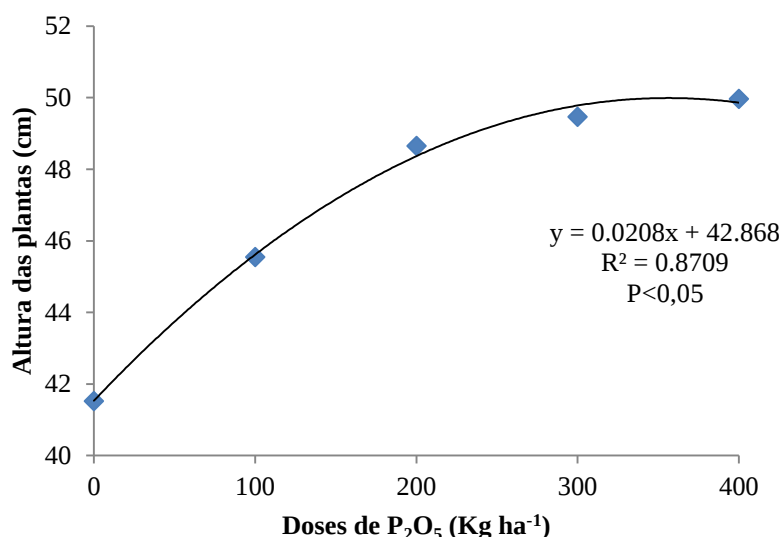


Porém, quando se utilizou a Análise da Regressão, notou-se que aos 6 meses, os tratamentos que não receberam biocarvão, mostrou-se positivo para altura das plantas com crescimento linear, quando se aumentou as doses de P₂O₅ (Figura 6).

Em sistemas agroflorestais de aproximadamente 10 anos, Costa et al. (2009), relatou que as plantas que estavam em solos com maior disponibilidade de fósforo 6.9 (mg dm³) e M.O (36.42 g kg) tiveram maior desenvolvimento, o que permite dizer que a Castanheira responde a adubação fosfatada, podendo reduzir ou antecipar tornar o

tempo de frutificação ou mesmo de colheita de madeira, a partir da utilização de fontes alternativas ou minerais.

Figura 6. Altura das plantas (cm) aos 6 meses em função das doses de P_2O_5 na ausência de biocarvão



Quando se analisou as cinco medidas, observou-se que todos os tratamentos que receberam $20\ t\ ha^{-1}$ de biocarvão com ausência ou presença das doses de P_2O_5 , tiveram um crescimento de forma linear (Figura 7 A) e ainda que a aplicação de apenas $100\ Kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , respondeu positivamente na altura das plantas, porém foi semelhante ao tratamento que não recebeu fonte fosfatada (Figura 7 B), o que nos leva a inferir sobre o baixo requerimento de P pelas plantas nesta fase.

Na figura 7 C nota-se que na presença de $20\ t\ ha^{-1}$ de biocarvão a altura foi semelhante entre os tratamentos com 0, 100 e 400 de $kg\ ha^{-1}$ de P, podendo ser considerada a dose de $100\ kg\ ha^{-1}$, nesta fase, uma dose econômica uma vez que neste período a exigência da planta por P, poderia ser baixa ainda, mas talvez, em um experimento mais longo, a planta poderia começar a utilizar o P do fertilizante mineral. Na Figura 7 D, observa-se que os tratamentos que não receberam P apresentaram altura maior que os tratamentos que receberam doses intermediárias de P (200 e $300\ Kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5).

Lima et al (2016), trabalhando com cinco doses de biocarvão (0, 5, 10, 20 e 35%) v/v e cinco doses de P (0, 50, 100, 200 e $400\ mg\ dm^{-3}$), na forma de superfosfato

simples (18% P_2O_5) e mudas de Angico, também não observaram diferenças significativas para Altura e Peso seco da parte aérea.

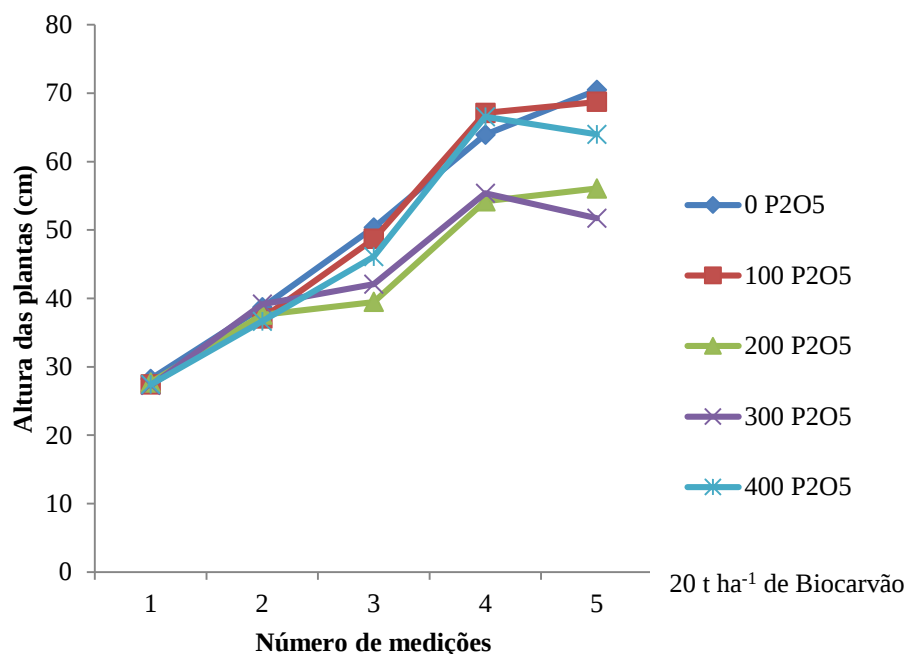
Considerando que experimentos que estudam biocarvão com espécies florestais ainda são escassos e a espécie aqui discutida não possui recomendação de adubação, podemos tomar como base alguns parâmetros aqui adquiridos, no crescimento das plantas, visto que este foi restrito de forma que as plantas não conseguiram alcançar êxito de acordo com o aumento da disponibilidade de nutrientes.

A ausência de proporcionalidade com o aumento das doses de biocarvão para produção de mudas, foram observados por Rezende et al. (2016) na composição de substratos para mudas de Teca (*Tectona grandis*), sugerindo que doses crescentes interferem na macroporosidade do substrato, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

Observando a importância da Castanheira na cultura amazônica bem como seu papel na recuperação de áreas degradadas, o enriquecimento e o manejo dos plantios na regeneração natural têm sido as práticas recomendadas para a recuperação de solos fragilizados podendo ser utilizados ainda em áreas fortemente perturbadas e que possuem dificuldades em retornar às condições originais (RODRIGUES; GANDOLFI, 1996).

Salomão et al. (2006), concluíram em seu trabalho que teve como objetivo informar sobre o comportamento da castanheira no que tange aos crescimentos do diâmetro e da altura em reflorestamentos heterogêneos visando especificamente recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração na Floresta Nacional Saracá-Taquëra, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em Porto Trombetas teve como uma das conclusões que a castanheira, plantada na Amazônia setentrional em áreas degradadas pela mineração, através de reflorestamentos heterogêneos, é uma espécie de comprovada adaptabilidade e excelente crescimento.

Figura 7. Efeito da dose de 20 t ha⁻¹ de biocarvão e diferentes doses de P₂O₅, em função do tempo na altura das plantas.



Diâmetro das plantas

Os tratamentos afetaram os valores de diâmetro das plantas, somente na primeira medição após a instalação do experimento, respondendo significativamente à interação, como visto na Tabela 3. Observa-se que nos tratamentos que receberam 20 t ha⁻¹ de biocarvão o valor do diâmetro teve aumento de 4.01 para 5.05 mm entre os tratamentos com 400 e 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, mostrou ainda que no nível de 40 t ha⁻¹ o diâmetro foi maior no tratamento que não recebeu Fósforo, o que não aconteceu na dose máxima de biocarvão (80 t ha⁻¹), onde o mesmo apresentou o menor valor de diâmetro em relação aos demais tratamentos sem adição de P₂O₅.

Tabela 3. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre o diâmetro do coleto (mm) de plantas de Castanheira aos 90 dias após o plantio.

Biocarvão t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	100	200	300	400
0	4,65 abA	4,22 aA	4,30 abA	4,76 aA	5,08 aA
20	4,91 aAB	5,05 aA	4,26 abAB	4,60 aAB	4,01 bB
40	5,19 aA	4,34 aAB	3,77 Bb	4,47 aAB	4,68 abAB
60	4,70 abA	4,77 aA	4,37 abA	4,06 aA	4,59 abA
80	3,88 bB	4,61 aAB	4,86 aA	4,72 aAB	4,48 abAB

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
Classificação com letras maiúsculas para as linhas e minúsculas para as colunas

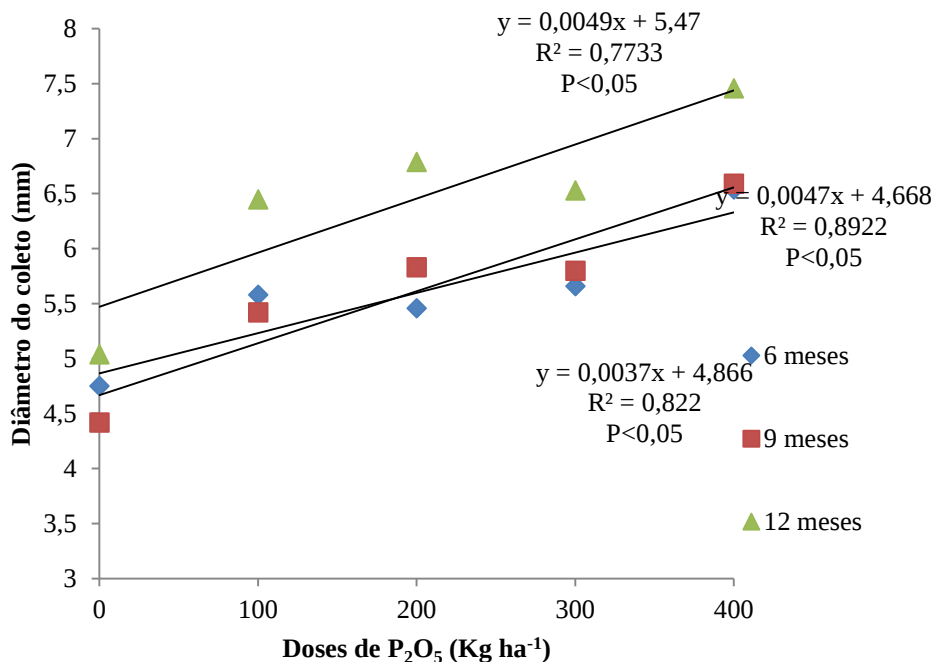
Para doses fixas de 100 mg dm⁻³ de fósforo, Lima et al. (2016) não observaram diferenças em altura e diâmetro em mudas de angico (*Anadenanthera colubrina*) após 120 dias de plantio, com concentrações de biocarvão variando de 0 a 35 %.

Nos tratamentos com 0 P₂O₅, nota-se que, o valor do diâmetro teve um crescimento linear até o nível de 40 t ha⁻¹ e que a partir daí os valores reduziram, o que pode estar relacionado ao fato de que alguns nutrientes tenham ficado indisponíveis, refletindo na incapacidade das plantas em absorver os nutrientes, uma vez que o caule é responsável pela condução de água e sais das raízes para as partes aéreas e de substâncias de produção própria, para as demais regiões da planta.

O diâmetro do coleto é um importante parâmetro para que se possa estimar a taxa de sobrevivência de mudas espécies florestais após o plantio em campo (SOUZA et al., 2006; DANIEL et al., 1997).

Diferenças significativas não foram verificadas nas outras medições, excluindo a última, em que ocorreu o mesmo que já descrito na variável Altura, ou seja, um efeito decrescente nos valores de diâmetro, conforme o aumento dos níveis de biocarvão aplicado. Da mesma forma, o número de folhas não apresentou diferenças estatísticas significativas. Sob fertilização fosfatada, Ferreira et al. (2012) não observaram diferenças significativas nesses parâmetros para a mesma espécie em igual período de avaliação. Por outro lado, quando se fez Análise regressão (Figura 8), observou-se que aos seis meses, o diâmetro do coleto apresentou aumento dos valores em função apenas das doses de P₂O₅ e o mesmo efeito foi visto aos nove e 12 meses (P<0,05).

Figura 8. Diâmetro do coleto aos 6, 9 e 12 meses em função das doses de P_2O_5 na ausência de biocarvão.



4.3. Efeito dos tratamentos sobre o Estado Nutricional das plantas

A castanheira, por ser considerada uma planta rústica e de ciclo longo, poucos são os estudos sobre sua exigência nutricional, assim este trabalho, pode ser considerado pioneiro, pois é um dos primeiros a relacionar aplicação de biocarvão de ouriço na cultura da castanheira. O aumento das doses de biocarvão diminuiu em aproximadamente 20% as concentrações de N, independente das doses de P aplicada, o que pode estar relacionado ao aumento da adsorção de N, aplicado na forma de ureia, pelo biocarvão, tornando o elemento indisponível para as plantas aos 365 dias (Tabela 4).

Asai et al. (2009) relataram melhoria nas respostas de culturas anuais em solo com aplicação de N e N+P, porém nos tratamentos somente com aplicação do biocarvão os teores de clorofila nas folhas foram menores, sugerindo aplicação conjunta de biocarvão com fertilizantes minerais, contudo, no presente trabalho a aplicação de somente biocarvão refletiu em menores concentrações de N. Esta baixa concentração de N pode ter contribuído para ausência de diferença entre os

tratamentos nas características do crescimento, corroborando com Souza et al., (2010) que trabalharam com Mogno e observaram que a omissão de N, também causou inexistência de diferenças significativas.

Tabela 4. Concentração de Nitrogênio (g kg^{-1}) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha.

Biocarvão (t ha^{-1})				
0	20	40	60	80
19,90 a	18,25 b	17,50 bc	15,95 c	16,20 c

Quando se realiza a adição do N na forma mineral ao solo, este tende a passar rapidamente para a forma orgânica, não assimilável pelas plantas. Este processo ocorre devido à atividade dos microrganismos do solo, que imobilizam o N, e somente após sua morte estará disponível na forma mineral como NH_4 ou NO_3 às plantas. As concentrações aqui encontradas foram semelhantes as encontradas por Ferreira, 2009, que trabalhou com a mesma espécie em área degradada e aos 4 anos sob tratamentos de adubação, encontraram concentrações que variaram entre $10,7 \text{ g kg}^{-1}$ para o tratamento controle e $15,1 \text{ g kg}^{-1}$ para o tratamento com adubação verde g kg^{-1} . Neste trabalho as doses de P, parecem não ter influenciado as concentrações de N positivamente ao contrário de alguns autores que descrevem que a incorporação de doses de P ao substrato de mudas de *Bauhinia forficata* L. e de Castanheira promoveu aumento das concentrações de nitrogênio nas folhas (BRONDANI et al., 2008; CORRÊA, V.M. 2013), talvez o biocarvão tenha impedido tal conduta.

Embora Hale, et al. (2013), não tenham observado adsorção de NO_3 pelo biocarvão de casca de cacau e espiga de milho produzidos a 300 e 350 °C, a alta adsorção observada no presente estudo pode ter ocorrido devido ao aumento de temperatura, que resulta em maior área superficial. O teor de M.O. encontrado nos tratamentos foram muito baixos, aproximadamente 10 g dm^3 , o que dificulta ainda mais a disponibilidade de N, mesmo a planta tendo capacidade de absorção de formas diferentes, diferente da absorção de Potássio que somente ocorre na forma elementar (K^+) e é o nutriente mais exigido pelas plantas depois do Nitrogênio.

As concentrações de K foram afetadas pelos tratamentos, principalmente quando se analisa as doses de biocarvão isolado, onde houve um aumento das

concentrações, com ganho de aproximadamente 60% com aplicação de 40 t ha⁻¹ de biocarvão, de uma forma geral, este aumento foi observado até os tratamentos com 40 t ha⁻¹ de biocarvão e redução a partir deste (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração de Potássio (g kg⁻¹) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P₂O₅

P ₂ O ₅ (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	13,75 Ab	18,25 Aab	21,75 a	14,25 Cb	18,50 Aab
100	14,25 Ab	19,00 Aab	21,75 a	22,25 Aba	20,25 Aab
200	13,25 Ab	15,50 Aab	22,25 a	19,50 BCab	21,75 Aa
300	14,25 Ab	16,50 Aab	21,75 a	17,75 BCab	20,25 Aab
400	13,25 Ac	16,50 Abc	20,75 ab	27,00 Aa	19,50 Abc

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Corrêa, V.M. (2013) observou que em Castanheira aos 180 dias, a concentração de K foi de 15,4 g kg⁻¹ no tratamento onde se aplicou Ca, Mg, K, N+ micronutrientes e 2,5 g kg⁻¹ onde se aplicou Ca+Mg, no entanto, no presente trabalho, a aplicação de biocarvão resultou em concentrações de K bem mais elevadas, mesmo também tendo apresentado aos 50 dias aproximadamente, sintomas visuais aparente de deficiência do K em algumas folhas, com alguns indivíduos mostrando clorose nas bordas e expandindo-se em direção a nervura central das folhas.

Brondani *et al.*, (2008) trabalhando com *Bauhinia forficata*, notaram respostas positivas analisando concentração de K em função das doses de P aplicada, com valores variando entre 12,11 e 19,04 g kg⁻¹ de K foliar. Neves *et al.* (2004) também mostraram resultados semelhantes, trabalhando com *Carapa Guianensis*, onde a dose de 244,5 mg dm⁻³ de P promoveu o máximo acúmulo de potássio nas folhas, com decréscimo no acúmulo a partir de doses superiores a 300 e 450 mg dm⁻³ de P, entretanto, tal resultado não foi obtido neste trabalho, observando-se que o aumento das doses de P, não aumentaram as concentrações de K.

Talvez, as maiores doses de biocarvão tenham adsorvido o K aplicado, considerando o biocarvão um material com alta CTC e porosidade (LEHMANN *et al.*, 2006). Não se conhece ainda faixas de suficiência para a espécie, mas na Seringueira a faixa considerada adequada é de 10-17 g/kg (RAIJ, 2011). Os tratamentos na

ausência de biocarvão já se encontravam nesta faixa, porém, a presença de biocarvão, resultou em concentrações ainda maiores, podendo-se inferir que algumas espécies florestais são mais responsivas ao elemento. Silva (1996) observou que o cedro (*Cedrela odorata*) foi uma espécie que respondeu à adubação potássica mostrando incremento na matéria seca, ao contrário de espécies como a copaíba, jatobá e pau pereira, que mostraram incrementos bem menores com aplicação deste nutriente.

O Potássio é um elemento bastante exigido ao desenvolvimento vegetal, pois entre as responsabilidades está a ativação enzimática, regulação osmótica e síntese de proteínas e produção de ATP, onde o Fósforo atua como constituinte da molécula.

Neste estudo, as concentrações de P mostraram um efeito significativo somente para aplicação da fonte fosfatada, que foi aumentada conforme o aumento da dose, porém a análise estatística revelou que a dose mais elevada de Fósforo e a ausência dele resultaram em concentrações semelhantes, apesar de os teores de P no solo terem sido altos com aplicação das fontes fosfatadas (Tabela 6). Isto pode ter ocorrido devido o efeito altamente positivo do biocarvão na elevação do pH e na diminuição do Al^{3+} , favorecendo a disponibilidade de micronutrientes como Fe, Zn e Mn que, provavelmente reagiram com o P em solução, tornando este elemento indisponível. Adicionalmente grande parte desse P solúvel pode ter reagido com os óxidos e hidróxidos de Fe e Al, minerais de argila de baixa atividade presentes em grandes concentrações em solos da Amazônia.

Tabela 6. Concentração de Fósforo ($g\ kg^{-1}$) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de P_2O_5

P_2O_5 ($Kg\ ha^{-1}$)				
0	100	200	300	400
0,72 ab	0,62 b	0,65 b	0,69 ab	0,80 a

As concentrações encontradas neste trabalho assemelham-se as encontradas por Gomes (2012) que trabalhou com a mesma espécie e aos 180 dias observou concentrações de P similar aos encontrados nesta experimentação, bem como Corrêa

(2013), que somente obteve concentrações pouco maiores nos tratamentos com adição de 400 mg kg⁻¹ e 500 mg kg⁻¹ de P.

Por outro lado, Ferreira et al. (2009) obtiveram concentrações médias de P de 1,28 g kg⁻¹ em plantas jovens de *B. excelsa* submetidas a tratamento com adubação mineral convencional.

Estas baixas concentrações de P, podem ter favorecido a ausência de diferenças nas avaliações biométricas, uma vez que a redistribuição de P de folhas senescentes pode resultar em folhas novas com teor de P moderado, porém retarda o crescimento vegetal (THOMAS et al., 2006; MARSCHNER, 2012). A redistribuição de P tem indicado relação inversa com a taxa de crescimento relativo, pois quando o percentual de P proveniente da remobilização aumenta, a taxa de crescimento relativo decresce (VENEKLAAS et al., 2012).

Em *Eucalyptus grandis*, a aplicação de P ao solo não mostrou diferenças nas concentrações de P, decrescendo até a dosagem de 250 mg kg⁻¹ de P, havendo a partir de então aumento até a última dosagem estudada (1000 mg kg⁻¹). Este resultado foi atribuído, pelos autores, a diluição em função do crescimento, já que esta condição pode explicar a ausência de um maior incremento de P foliar, mesmo tendo aumento da oferta de P no solo para coníferas e espécies arbóreas nativas australianas (THOMAS et al., 2006).

Para a seringueira, a faixa de suficiência para o P, é de 1,6 a 2,5, o que coloca os resultados aqui obtidos em desvantagem. Considerando P um elemento limitante, estas baixas concentrações, podem estar ligadas aos resultados de Peso da Matéria Seca, que tiveram o mesmo comportamento. Em trabalhos com solução nutritiva, resultados semelhantes na omissão de P como fator limitante, foram encontrados por Renó (1994) trabalhando com as espécies *Caesalpinia ferrea*, *Senna multijuga*, e *Piptadenia gonoacantha*; Silva e Muniz (1995) com *Cedrella fissilis*; Braga et al. (1995), com *Acacia mangium*, *Tibouchina granulosa* e *Aspidosperma polyneurom* e Mendonça et al. (1999) com *Myracrodruon urundeuva*.

Ao contrário do Fósforo que age na planta na formação de compostos e geração de energia, o Cálcio é um elemento mais ligado a estrutura das plantas e neste estudo, de uma maneira geral, as concentrações de Ca nas plantas foram maiores nos tratamentos que não receberam biocarvão, com exceção dos tratamentos com 20 t ha⁻¹ de biocarvão com 100 e 400 Kg ha⁻¹ de P₂O₅. Apesar de o biocarvão ser indicado para retenção de umidade, o que facilita a absorção do Ca, nota-se que

quanto maior a dose de biocarvão menor foi a capacidade de absorção do nutriente pela planta, além disso, Hanger (1979), relatou que nas plantas lenhosas o movimento ascendente do Ca é relativamente lento bem como há uma baixa redistribuição.

Nota-se na Tabela 7, que a partir da primeira dose as concentrações de Ca já começaram a diminuir, observando-se reduções de até 40% no tratamento com 60 t ha⁻¹ de biocarvão com 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em relação ao tratamento com a mesma dose de P₂O₅, sem biocarvão. Raij e Cantarella (1997) descrevem que a concentração adequada para seringueira se dá entre 7,0 e 9,0 g kg de Ca, o que torna as concentrações obtidas baixas. No entanto, estão de uma maneira geral iguais ou maiores as encontradas por Corrêa, (2012) na mesma espécie aos 180 dias, onde pudemos observar valores muito similares entre o tratamento com Ca e Mg (11.3 g kg⁻¹) e no presente estudo (11.2 g kg⁻¹) no tratamento com 20 t ha⁻¹ de biocarvão e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aos 365 dias.

Wallau *et al.*, 2008, avaliando um experimento com mudas de mogno em casa de vegetação cultivadas em solução nutritiva com omissão de K, observou-se aumento nos teores de Ca e Mg na parte aérea das plantas, no presente estudo as concentrações de Ca foram relativamente baixas, já que as concentrações de K, foram mais elevadas.

Tabela 7. Concentração de Cálcio (g kg⁻¹) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P₂O₅

P ₂ O ₅ (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	6,00 Aa	5,75 Ba	5,25 Aa	4,25 Aa	4,50 Aa
100	5,50 Ab	11,25 Aa	5,00 Ab	4,50 Ab	4,50 Ab
200	6,50 Aa	5,25 Ba	4,75 Aa	3,50 Aa	4,25 Aa
300	8,75 Aa	6,50 Bab	5,50 Aab	4,75 Ab	4,50 Ab
400	6,00 Aa	7,00 Ba	5,50 Aa	4,50 Aa	4,25 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

No tratamento que recebeu 20 t ha⁻¹, observa-se que a primeira dose de P₂O₅, as plantas absorveram de maneira melhor o Ca disponível, podendo esta dose de biocarvão ter aumentado a disponibilidade do Ca, que poderia estar no próprio

biocarvão. Mesmo o Ca tendo alta afinidade com o nutriente Mg, as concentrações de Mg, só apresentaram diferença significativa quando se analisou somente as doses de P_2O_5 , porém com pouca variabilidade, pois o tratamento com 300 Kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentou 0.98 g kg de Mg e o tratamento com 200 Kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentou 0.86 g kg de Mg e, em geral, as concentrações deste nutriente, ficaram bem abaixo dos níveis adequados para algumas espécies florestais.

Kerbauv (2004), descreve que a absorção de Mg pode ser fortemente reduzida pela presença de NH_4 , Ca^{2+} , K^+ , e íons H^+ em baixo pH, por ser um íon com pequeno raio iônico, mas com grande raio de hidratação. A hipótese é a de que nesta experimentação as concentrações elevadas de K tenha diminuído a absorção de Mg, já que as concentrações de N foram baixas e o pH do solo foi aumentado.

As concentrações de enxofre apresentaram diferenças significativas para os dois fatores de estudo, no entanto, não mostraram interação entre si. Somente a aplicação de biocarvão proporcionou aumento de acordo com o aumento das doses. A dose de 80 t ha^{-1} de biocarvão refletiu em $1,60 \text{ g kg}$ de S, enquanto na ausência de biocarvão foi de $1,42 \text{ g kg}$. Na ausência de concentrações adequadas de S para a espécie, podemos citar o trabalho desenvolvido por Andrade (2010), que encontrou em um trabalho de omissão de nutrientes para Jequitibá branco a concentração de $1,3 \text{ g kg}$ na ausência de S e de 4.9 g kg no tratamento completo, deixando-nos entender que a concentração aqui obtida se encontra “baixa”, por outro lado Brun et al., 2012, encontraram concentrações semelhantes em *Cedrella fissilis*, *Caesalpinia pluviosa*, *Eugenia uniflora*, *Parapipitadenia rígida* e *Peltophorum dubium*.

As concentrações de todos os micronutrientes foram afetadas, exceto para Mn. As concentrações de Boro foram aumentadas com aplicação de biocarvão independente das doses de P, embora, tenha se observado no solo baixos teores de M.O. encontrados, que apesar de ser fonte para os micronutrientes, podem também levar à complexação do elemento (Marschner, 2011), neste estudo talvez a baixos teores de M.O. podem ter facilitado a disponibilidade do elemento às plantas. O Boro é um dos micronutrientes mais importantes para a formação de troncos retilíneos, que agrega valor a madeira (Mattiello et al., 2009) e embora não se tenha nenhum trabalho com Castanheira neste sentido, considera-se aqui que os tratamentos podem ser fatores de estudos futuros.

A aplicação somente de biocarvão aumentou os teores de Boro progressivamente e na dose de 80 t ha^{-1} este valor foi aumentado em

aproximadamente 20% em relação à testemunha, mostrando que o biocarvão melhorou a disponibilidade do elemento aplicado (Tabela 8). Nota-se que o tratamento com 60 t há⁻¹ de biocarvão mais 400 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, refletiu em um aumento de 60 % em média, comparando com o tratamento com a mesma quantidade de P₂O₅ sem biocarvão.

Comparando esses resultados com espécies conhecidas como Eucalipto, estes estão acima dos resultados conhecidos, o que torna um resultado relevante considerando-se que na planta, as funções do B, estão relacionadas ao transporte de açúcares das folhas para os demais órgãos da planta, formação da parede celular, divisão celular (formação de gemas apicais, axilares e radiculares), síntese de lignina e celulose, balanço hormonal (tecidos carentes acumulam ácido indol acético), síntese de ácidos nucleicos e proteínas, metabolismo dos fenóis e absorção radicular (POLLARD et al., 1977; GUPTA, 1979; MALAVOLTA et al., 1997). A aplicação somente de P₂O₅, reduziu as concentrações de Boro de acordo com o aumento das doses, o que pode estar relacionado ao pH do solo que também foi reduzido.

Tabela 8. Concentração de Boro (mg kg⁻¹) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P₂O₅

P ₂ O ₅ (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	43,00 b	45,75 ab	55,25 ab	47,50 Cab	62,50 a
100	42,00 b	40,50 b	59,50 ab	61,75 BCa	57,75 ab
200	42,50 b	39,25 b	47,50 b	66,75 ABa	69,75 a
300	41,00 b	56,50 ab	63,00 a	63,00 ABCa	75,25 a
400	35,75 c	48,00 bc	66,75 ab	81,00 Aa	60,25 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

As concentrações de Cobre também foram aumentadas em função do aumento das doses de biocarvão, também sendo mais pronunciadas nos tratamentos com 60 t ha⁻¹ de biocarvão, porém, neste o maior valor foi visto na ausência de P (Tabela 9). De maneira geral, as concentrações aqui encontradas ficaram acima ou nos níveis considerados adequados para espécies florestais. Karer et al. (2013) relata que trabalhando com diferentes solos na Austrália com doses de 0, 60 e 90 t ha⁻¹ de

biocarvão, houve aumento na absorção de Cu pelas plantas anuais de acordo com o aumento das doses.

Tabela 9. Concentração de Cobre (mg kg^{-1}) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P_2O_5

P_2O_5 (Kg ha^{-1})	Biocarvão (t ha^{-1})				
	0	20	40	60	80
0	10,50 Ac	10,25 Ac	11,75 Abc	14,25 Aa	13,25 Aab
100	10,50 Ab	10,25 Ab	11,50 Aab	12,75 Aba	11,75 Aab
200	10,00 Ab	10,25 Ab	11,75 Aab	12,25 BA	11,75 Aab
300	10,50 Ac	10,75 Abc	12,25 Aabc	12,50 ABab	12,75 Aa
400	10,25 Ab	11,50 Aab	13,25 Aa	11,50 Bab	12,00 Aab

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

As concentrações de Fe foram bem elevadas e somente aplicação de biocarvão aumentou em aproximadamente 100% entre as doses de 80 t ha^{-1} e o controle (Tabela 10). Os resultados aqui obtidos, foram muito maiores que os resultados obtidos por Corrêa (2013) que obteve valor máximo de 65.9 mg kg e Gomes (2012) que obteve valor máximo de 182 mg kg .

Partindo do pressuposto que as quantidades médias para o adequado ao desenvolvimento vegetal estão em torno de 100 mg kg de matéria seca (Kerbaui, 2004), todos os tratamentos apresentaram concentrações de Fe acima deste valor. O Fe está envolvido na biossíntese dos citocromos, de coenzimas e da clorofila.

Nesta pesquisa, os teores de Fe analisados ficaram bem superiores aos descritos por Malavolta et al. (1997) para espécies florestais, indicando que pode ter ocorrido um toxicidade de Fe, pois no decorrer da experimentação observou-se a produção de pigmentos vermelhos e amarelos, manchas necróticas nas folhas e ainda a alta relação K/Ca.

Tabela 10. Concentração de Ferro (mg kg^{-1}) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P_2O_5

P_2O_5 (Kg ha^{-1})	Biocarvão (t ha^{-1})				
	0	20	40	60	80
0	443,75 B	612,75 ab	633,25 ab	680,75 ab	912,25 Aa
100	278,50 B	616,25 ab	636,00 ab	752,25 a	491,75 B Cab
200	412,00 Bc	323,75 c	631,50 abc	837,50 a	715,25 ABab
300	363,50 A	416,00 a	650,00 a	678,50 a	420,50 B Ca
400	349,25 B	545,00 ab	729,00 a	521,50 ab	308,75 Cb

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Na tabela 11, observa-se que as concentrações de Zinco foram altas e a aplicação somente do biocarvão quase duplicou estes valores quando se aplicou a dose máxima de biocarvão em relação ao controle. Os valores encontram-se bem acima da faixa demandada pelos vegetais que está entre 15,0 e 30,0 mg kg^{-1} (KERBAUY, 2004). Estudos utilizando solução nutritiva com mudas de *B. excelsa* em casa de vegetação mostraram que a omissão de Zn não foi fator limitante ao crescimento das plantas (CAMARGOS et al., 2002). Os autores atribuíram tais resultados à elevada concentração de Zn encontrada na amêndoa na ocasião da germinação e crescimento inicial das plantas (56,12 mg kg^{-1}).

Tabela 11. Concentração de Zinco (mg kg^{-1}) em mudas de castanheira do Brasil aos 365 dias submetidas a aplicação de doses de biocarvão de ouriço de castanha e doses de P_2O_5

P_2O_5 (Kg ha^{-1})	(Biocarvão t ha^{-1})				
	0	20	40	60	80
0	26,25 b	38,50 ab	31,00 ab	26,25 b	42,00 Aa
100	26,75	37,00	27,25	36,00	36,50 AB
200	28,00	35,50	28,75	25,00	28,00 B
300	33,50	35,75	33,75	34,50	29,00 AB
400	34,25	34,25	36,75	24,50	24,75 B

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Nota-se que é uma tarefa com muitos entraves, conhecer as exigências nutricionais de espécies florestais, principalmente quando se pretende beneficiar alguma propriedade (frutos, madeiras, óleos, etc.), Sarcinelli et al. (2004) relata que tal conhecimento torna mais fácil práticas de identificação e correção de deficiências que podem ocorrer no campo, tornando possível ações que beneficiem a conduta com menor custo e impacto ambiental, tornando de suma importância ecológica e econômica para Programas florestais, a correção das limitações nutricionais do solo durante a formação das mudas para cada espécie. A necessidade de desenvolver pesquisas referentes aos requerimentos nutricionais das espécies florestais, principalmente as essências florestais nativas da Amazônia, como a Castanheira, é inadiável, uma vez que estas informações são imprescindíveis para fornecer subsídios que garantam o manejo adequado da floresta.

4.4 Efeitos dos tratamentos nos teores de Carbono, Nitrogênio e Matéria Orgânica no solo.

Os teores de Carbono no solo foram incrementados pela presença do biocarvão, independente das doses de P, progressivamente, (Tabela 12) ratificando o uso de biochar como uma forma eficiente de estocar carbono no solo e de recriação das características e propriedades das Terras Pretas, uma vez que Sombroek et al., 1996; Woods e McCann, 1999 e Glaser et al., 2001, descrevem a recalcitrância do biocarvão presente nas Terra Pretas, conferindo a este material alto o potencial para estocar carbono no solo a longo prazo, pois, as Terras pretas apresentam teores de C de até 150 g kg^{-1} , já nos solos adjacentes esses valores são estimados em $20\text{-}30 \text{ g kg}^{-1}$. Além disso, a estabilidade deste material está totalmente relacionada à estrutura aromática condensada do carbono bem como, por ser altamente recalcitrante (ATKINSON et al., 2010; KEILUWEIT, et al. 2010; SCHIMMELPFENNIG e GLASER 2011).

Tabela 12. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Carbono (%) no solo aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	0,71 Ac	1,33 Ac	2,51 Ab	2,63 Cb	3,88 Aa
100	0,75 Ac	1,29 Ac	2,12 Ab	2,43 Cb	3,97 Aa
200	0,72 Ad	1,66 Ac	2,30 Abc	2,58 BCb	4,22 Aa
300	0,79 Ac	1,31 Ac	2,31 Ab	3,16 Aba	3,57 Aa
400	0,67 Ad	1,52 Ac	2,66 Ab	3,35 Aa	3,69 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

A presença do biocarvão no solo auxilia na mitigação da emissão de CO_2 , por ser um material que pode permanecer inalterado ou com baixas taxas de decomposição por mais de 100 anos (JHA et al., 2010). Ademais, alguns autores, analisaram a utilização do material na agricultura, classificando-o como viável, já que, observaram aumento no desenvolvimento das plantas, sendo aplicado de forma isolada ou mesmo com fertilizantes minerais.

Ademais, mostraram que os benefícios da utilização do biocarvão também influenciam algumas propriedades do solo como retenção de água, disponibilidade de nutrientes, aumento da porosidade, melhoria da estrutura, umidade e atividade microbiana. Ambientalmente, a relevância deste subproduto pode ser vista pelo fato de que, possui efeito redutor das emissões de gases de efeito estufa como CO_2 , N_2O e CH_4 (Lehmann e Joseph, 2009).

Neste trabalho, observa-se que a aplicação de 80 t ha⁻¹ de biocarvão, na presença de 200 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , proporcionou aumento de aproximadamente seis vezes mais no teor de C, quando comparado com o valor encontrado no tratamento controle, o que pode confirmar o efeito deste subproduto como uma forma eficiente de estocar C.

Free et al. (2010) descreveram que o biocarvão teve efeito mitigador de gases e não ocasionou danos nos processos de germinação e crescimento inicial da cultura do milho. Em estudos mais voltados para questões ambientais, Vaccari et al. (2011), estudaram os efeitos da utilização do biocarvão e observaram que a aplicação deste ao solo, resultou em maiores teores de Carbono em todas as doses aplicadas. A exemplo prático, produtores de carvão da região de Santarém – Pará utilizam as áreas

de caieiras abandonadas para cultivar milho e feijão caupi sobre os resíduos de carvão.

Em estudo onde se aplicou biocarvão ao solo, Jeffery et al. (2010), observaram que embora de 10 a 20% do componente solúvel do subproduto seja mineralizado na forma de CO_2 , os compostos aromáticos e alifáticos são propensos a formação de grupos ou moléculas mais complexas, o que aumenta a resistência à ação dos microrganismos do solo, assim os autores, concluem que o biocarvão aumenta o estoque de C no solo.

No plantio direto, diferentemente da biomassa fresca biocarbonizada, o aumento dos teores de C orgânico no solo estão associados a maiores teores de material orgânico proveniente das culturas (LOVATO et al., 2004). Em análise experimental sobre os efeitos do biocarvão nos componentes da M.O. e atributos químicos do solo Shenbagavalli e Mahimairaja (2012) relataram que o produto proporcionou aumento dos teores de macronutrientes, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, além de reduzir os teores de NH_4 e NO_3 após a incubação por 90 dias.

Assim, no presente trabalho, alguns teores de macro e micronutrientes também foram aumentados, bem como, os teores de matéria orgânica, porém esses atributos somente foram influenciados significativamente, quando se analisou as doses de biocarvão de maneira isolada, contudo, os teores de M.O. foram diminuídos com o aumento das doses de biocarvão, o que pode estar relacionado com a mineralização da M.O.

No entanto, esta condição pode ser melhorada com tempos mais longos de aplicação, pois de acordo com Weidner et al. (2013) um biocarvão novo pode ser considerado um material inerte devido a predominância de C aromático e ausência de grupos funcionais carregados negativamente, por outro lado, Liang et al. (2013) utilizou matéria orgânica natural para revestir partículas de biocarvão e aplicar no solo e observou que quando se aumentou a profundidade a razão entre C oxidado/ C aromático aumentou de 2,9 para 3,1, mostrando oxidação do biocarvão com envelhecimento.

Considerando que os teores de M.O. encontrados aqui, foram baixos (Tabela 13), este pode ter sido um dos motivos, para que se tenha encontrado dificuldade em se observar diferenças significativas nos parâmetros biométricos das plantas, bem como para as concentrações alguns nutrientes nas plantas, já que, o aporte de M.O. influencia na estrutura do solo e este atributo gera grande impacto sobre a infiltração

de água, desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, maior resistência à erosão, além de ser fonte primária de nutrientes para as plantas (PAUL e CLARK, 1996). O fato de o biocarvão ter sido passado em peneira de 2,00mm pode ter gerado dificuldade no desempenho da função de estruturador do solo.

Madari et al. (2009) destaca a importância da M.O em solos tropicais, já que, influenciam positivamente os atributos físicos, químicos e biológicos a exemplo da CTC, da estruturação, agregação e retenção de umidade, e ainda a contribuição como principal compartimento de carbono orgânico estocado no solo, embora seja dificultoso relacionar com os teores de N, que é um elemento de difícil manejo.

Tabela 13. Efeito de diferentes doses de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre os teores de Matéria Orgânica (g dm^{-3}) no solo aos 365 dias após o plantio.

Biocarvão (t ha^{-1})				
0	20	40	60	80
9.27 a	8.53 ab	8.44 ab	8.02 b	7.76 b

Embora os teores de N, tenham apresentado diferenças significativas, estatisticamente, estes valores não apresentaram alta variabilidade numérica (Tabela 14). Observa-se que na ausência de biocarvão os teores de N foram diminuídos de forma mais expressiva do que com a presença do biocarvão, independente da dose, discordando de trabalhos que descrevem que quanto maior o aporte de P, maior a disponibilidade de N (Corrêa, V.M. 2013; Brondani et al., 2008) e concordando com alguns trabalho que relatam adsorção do NO_3 pelo biocarvão (NGUYEN et al., 2017, WANG et al., 2015).

Tabela 14. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Nitrogênio (%) no solo aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	0,087 Aa	0,070 Ab	0,067 Bb	0,080 Aab	0,077 ABab
100	0,080 Aab	0,070 Aab	0,067 Bb	0,077 Aab	0,085 Aa
200	0,082 Aa	0,072 Aa	0,082 Aba	0,087 Aa	0,080 ABa
300	0,075 ABb	0,070 Ab	0,092 Aa	0,085 Aab	0,070 ABb
400	0,062 Bc	0,067 Abc	0,082 ABab	0,085 Aa	0,067 Bbc

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Contudo, a presença do biocarvão, de maneira geral, reduziu ou fez com que permanecessem iguais, os teores de N no solo, evidenciando uma possível adsorção de N, já que Hina et al.(2010) trabalhando com biocarvão tratado com solução alcalina de resíduos de curtumes e biocarvão não tratado, observou que o biocarvão tratado mostrou mais capacidade de adsorção de NH_4 , quando comparado ao não tratado (0,1-2% e 14-27%,respectivamente)

O biocarvão é um material que naturalmente apresenta baixos teores de N, que por ser um elemento volátil, é rapidamente perdido no processo de pirólise, o que resulta em um material com alta C:N (Benites et al., 2009; Hale et al., 2013), no entanto, acima de 500 °C observa-se leve aumento nos teores de NO_3 (Clough et al., 2013). O material aqui apresentado possui uma relação C:N de 62 e mesmo assim a presença deste conseguiu adsorver o pouco N que tinha.

Arif et al. 2012, analisando a produtividade, dados biométricos de Milho, relataram que a aplicação de fertilizante nitrogenado com 30 t ha⁻¹ de biocarvão, proporcionou maior rendimento da cultura, o que comprova a capacidade do biocarvão em disponibilizar de melhor maneira o fertilizante nitrogenado aplicado, em temperaturas acima de 500 °C. Brunn et al., (2012) avaliando formas de pirólise , concluiu que aplicação dos biocarvões produzidos mostraram potencial na forma de estocar C, já o método da pirólise teve grande influência sobre a mineralização-imobilização do solo N.

4.4.1 Efeito dos tratamentos sobre os índices de acidez no solo.

Considerando os atributos químicos analisados no solo antes da instalação do experimento, nota-se que estes foram afetados pelos tratamentos testados, desencadeados inicialmente pelos fatores pH e teor de Al no solo.

Na tabela 15, observa-se que a interação biocarvão e adubação fosfatada apresentou resposta significativa ($p < 0.05$), para os valores de pH em CaCl_2 , com aumento de 1.44 unidades de pH, quando se compara os tratamentos sem biocarvão e com 80 t ha^{-1} , ambos na ausência de P_2O_5 . Van Zwiten et al., (2010) avaliando o efeito de biocarvão em solos ácidos da Austrália observaram que a aplicação de somente biocarvão aumentou o pH do solo consideravelmente, enquanto que o tratamento que recebeu biocarvão com fertilizante mineral diminuiu ainda mais o pH do solo, tornando mais ácido.

Tabela 15. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre o pH(CaCl_2) do solo aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 (Kg ha^{-1})	Biocarvão (t ha^{-1})				
	0	20	40	60	80
0	3,55 Ac	3,53 Ac	3,76 Abc	4,27 Ab	4,99 Aa
100	3,46 Ac	3,45 Ac	3,84 Abc	4,33 Aab	4,75 Aba
200	3,45 Ac	3,48 Ac	4,08 Ab	4,58 Ab	5,32 ABCa
300	3,40 Ab	3,51 Ab	3,73 Ab	4,71 Aa	4,72 BCa
400	3,42 Ac	3,47 Ac	4,11 Ab	4,74 Aa	4,34 Cab

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Nesta experimentação, também se notou que os tratamentos sem biocarvão, apresentaram uma ligeira acidificação com o aumento das doses de P_2O_5 , diminuindo em 0.13 unidades de pH. Concordando com Solaiman et al. (2012), que avaliando os efeitos do biocarvão, aplicado em solos sob diferentes sistemas de manejo, observaram que no tratamento que recebeu biocarvão com fertilizante NPK, o pH do solo aumentou em relação ao tratamento controle e aquele que recebeu somente NPK, em cultivo de milho, de caupí e de amendoim.

A tabela mostrou claramente que a partir de 40 t ha^{-1} de biocarvão, os valores de pH são aumentados consideravelmente, o que pode estar ligado à capacidade de

adsorção do biocarvão, uma vez que a temperatura de 500 °C, possui alta área superficial e uma estrutura de C mais condensada (Downie et al., 2009), o que pode ter facilitado a retenção de cátions como o Al e Fe.

De uma maneira geral, as doses de biocarvão apresentaram um efeito linear nos valores de pH, entretanto, considerando a faixa ideal de pH para fertilidade do solo, pode-se constatar que as doses a partir de 40 t ha⁻¹ de biocarvão independente das doses de P₂O₅ proporcionaram valores mais adequados, não somente para a disponibilidade de nutrientes para as plantas como também em termos econômicos, mesmo porque, a partir das doses de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a variação de valores foi mínima.

Jeffery et al. (2011) em uma revisão sobre os efeitos do biocarvão no solo, concluiu que tal prática proporciona um ganho na produtividade das culturas, independente do tipo de matéria prima e da quantidade de aplicação, com aumento médio de cerca de 10% e atribuíram este ganho à contribuição do biocarvão no aumento do pH, na capacidade de retenção de água além da disponibilidade de nutrientes.

Estes valores de pH, são reflexo do processo de neutralização da atividade do Al. Segundo Raij (2011), o alumínio é o principal elemento que é associado ao efeito negativo da acidez do solo sobre as plantas. No Brasil, o uso do calcário para elevação dos valores de pH é comum, porém, Caires et al. (2008), relata que este pode ter ação limitada ao local de aplicação, não promovendo efeito de redução da acidez nas camadas subsuperficiais, as quais são dependentes do processo de lixiviação de carbonato e ainda que a dose aplicada que determina o tempo de reação (CAIRES, 2000). Contudo, nesta experimentação, a prática da calagem não foi realizada, tendo sido atribuído ao biocarvão, este processo de neutralização da acidez trocável.

Estes resultados corroboram com Van Zwiten et al., (2010) e com Berek et al. (2011) que em experimentação em solos ácidos do Havaí, utilizando 3 doses de biocarvão (0, 2.5 e 5%) cultivando *Desmodium*, relataram um decréscimo do teor de Al de 1.4 para 0.6 cmol_c kg, e como podemos observar na Tabela 5, o aumento de níveis de biocarvão diminuíram significativamente os teores de Al em todos os tratamentos.

Embora para os teores de Al, não se tenha obtido efeito significativo entre os fatores estudados, pode-se observar que a aplicação de biocarvão, iniciou o processo de neutralização de Al, já na primeira dose e reduziu de acordo com o aumento das doses de biocarvão, o que permite inferir sobre o poder do biocarvão como corretivo

de acidez, talvez pelo teor de cinza em sua composição ou pela característica física, o que o torna grande aliado nos processos de mudança de pH. Malavolta et al. (2006) reporta que altos teores de Al prejudicam o desenvolvimento do sistema radicular e reduzem a disponibilidade de nutrientes como P e S.

A aplicação de 80 t ha⁻¹ de biocarvão, reduziu em mais de 90% os teores de Al no solo (Tabela 16), o que pode estar ligado à quantidade de cinza presente no biocarvão (2,9%) que representa um “bom” indicativo de uso agrônômico.

Tabela 16. Efeito de diferentes doses de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre os teores de Alumínio (mmol_c dm³) aos 365 dias após o plantio.

Biocarvão (t ha ⁻¹)				
0	20	40	60	80
10,31 a	8,49 b	4,28 c	1,04 d	0,87 d

Da mesma forma que os teores de Al³⁺, os teores de H+Al foram fortemente influenciados pela aplicação de biocarvão. A aplicação de 60 t ha⁻¹ de biocarvão, proporcionou redução da acidez potencial em aproximadamente 50% (Tabela17).

Tabela 17. Efeito de diferentes doses de biocarvão em Latossolo Amarelo sobre os teores de Acidez potencial (mmol_c dm³) do solo aos 365 dias após o plantio.

Biocarvão (t ha ⁻¹)				
0	20	40	60	80
35,17 a	31,15 b	24,73 c	18,58 d	17,55 d

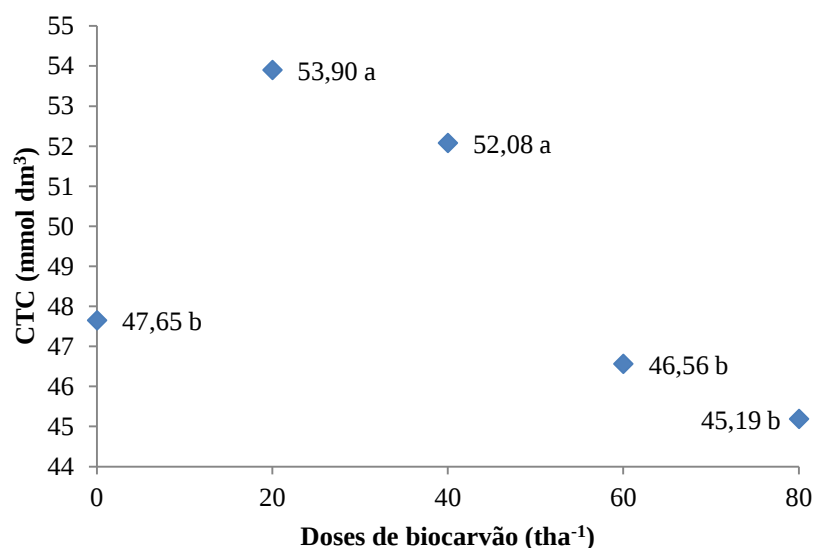
Embora seja bastante discutido que o biocarvão aumenta a CTC, neste estudo foi verificado que até a dose de 40 t ha⁻¹ teve aumento significativo, a partir desta, o efeito foi reduzido (Figura10). Este efeito pode estar ligado ao tempo de vida do biocarvão, que por ser ainda um material “novo” não teve tempo de ocorrer reações como oxidação dos grupos funcionais que são responsáveis pela geração de cargas.

Rajkovich et al., (2012) trabalhando com diferentes materiais e diferentes temperaturas descreveu que a CTC foi aumentada com aplicação de biocarvão de estrume, palha de milho e restos de madeira de carvalho, bem como foi reduzida com biocarvão de restos de alimentos, concha de avelã e resíduos de papel e ainda

observou que nestes últimos, o decréscimo da CTC era proporcional ao aumento da temperatura.

O aumento da CTC de solos que contém biocarvão está associado à formação de O e H presentes nos grupos funcionais, grupos carboxílicos e fenólicos, além da diminuição do teor de C na superfície do biocarvão, no entanto, os mecanismos envolvidos na formação destas estruturas funcionais contendo estes grupos na superfície de biocarvão adicionado ao solo ainda são mal compreendidas (WIEDNER et al., 2015)

Figura 9. Efeito das doses de Biocarvão sobre a CTC do solo.



4.4.2 Efeito de doses de biocarvão e Fósforo na Soma de Bases (SB), na Saturação por Bases e nos teores de Fósforo Total e disponível.

A Soma de bases apresentou diferença significativa, sendo mais evidente com o aumento de doses de BC e sendo mais influenciada pelos teores de Ca. Embora todas as variáveis que definem a SB, tenham apresentado teores baixos, vale ressaltar que os tratamentos não haviam recebido nenhuma fonte de Ca ou Mg, indicando que a cinza contida no biocarvão foi a principal fonte desses nutrientes e secundariamente parte deste Ca pode ter vindo da própria fonte fosfatada. Porém, quando analisados isoladamente, Ca, Mg e K responderam significativamente,

também para os níveis de biocarvão. Nota-se que os valores da SB tiveram um incremento com o aumento dos níveis de biocarvão (Tabela 18).

O Potássio teve um comportamento fora dos padrões, considerando que a medida que se aumentou os níveis de biocarvão o elemento teve o teor aumentado, contrariando o comportamento de fácil perda por lixiviação, mesmo com a irrigação diária e a capacidade que o biocarvão tem de manter água no solo (Tabela 5.) Piccolo et al., (1997) sugerem o efeito positivo dos biocarvões sobre propriedades físico-hídricas de solos, aumento de sua capacidade de retenção de umidade.

O fato de os teores de K, terem se apresentado desta forma, conseguindo permanecer ou ter sido aumentado solo, devido à presença do biocarvão, nos mostra um forma de mimetização de terras pretas de forma melhorada, ao considerarmos que o K é um elemento limitante nestes solos, talvez devido à origem que é totalmente orgânica.

Yao et al. (2011) e Madari et al. (2006) também observaram incrementos significativos no teor de K no solo com a aplicação de biocarvão. Por outro lado, Steiner et al.(2007) não observaram maior disponibilidade K após o primeiro cultivo arroz quando o biocarvão com formulado NPK foram adicionados em Latossolo Vermelho da Amazônia brasileira. Keiluweit et al., (2010) descreve que a pirólise de baixa temperatura (<550°C), favorecem a maior recuperação de C, bem como de diversos nutrientes (por exemplo N, K, e S) que são cada vez mais perdidos conforme o aumento da temperatura.

Tabela 18. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre a Soma de Bases ($\text{mmol}_c \text{ dm}^3$) aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 (Kg ha^{-1})	Biocarvão (t ha^{-1})				
	0	20	40	60	80
0	12,75 b	22,10 a	24,18 Bca	25,34 Ba	28,63 a
100	15,07 b	20,31 ab	22,02 Cab	24,82 Ba	25,98 a
200	13,00 b	22,54 a	29,23 ABCa	26,67 Ba	29,69 a
300	8,63 b	24,74 a	29,33 ABa	27,86 Ba	29,04 a
400	12,90 d	24,04 c	31,96 Aab	35,16 Aa	24,86 bc

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Steiner et al., (2008) também observaram a redução da acidez do solo com aplicação de carvão no plantio de banana em covas, bem como um aumento significativo dos teores de K trocável.

A SB teve valores mais que duplicados quando comparamos o tratamento na ausência de P_2O_5 sem biocarvão e com 80 t ha^{-1} de biocarvão, podendo-se inferir que esta pode ser uma boa prática para a melhoria da fertilidade do solo, diminuindo ainda o custo com fertilizante e melhorando sua eficiência. Permite-se ainda notar que a presença do biocarvão permitiu que os teores de SB fossem elevados, podendo-se inferir sobre menores perdas de nutrientes. Hua et al.(2009) relataram redução de perdas de nutrientes em pilhas compostagem onde adicionou biocarvão, atribuindo ao aumento da CTC e da nanoporosidade.

Analisando as doses de biocarvão, vê-se que houve respostas lineares, ou com valores muito próximos conforme o aumento, exceto na dose de 400 kg ha^{-1} onde a aplicação de 40 e 60 t ha^{-1} proporcionou maiores valores.

Estes resultados refletiram no comportamento da Saturação por Bases, que foi aumentada de acordo com o aumento das doses de biocarvão (Tabela 19). De acordo com Raij, 2011 todos os valores foram da faixa de suficiência “baixa” para “alta”. O mesmo efeito não foi visto, na ausência de biocarvão e aumento das doses de P, observando-se que os valores foram reduzidos.

Tabela 19. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre a Saturação por Bases aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 (Kg ha^{-1})	Biocarvão (t ha^{-1})				
	0	20	40	60	80
0	29,03 Ad	43,55 c	48,80 ABbc	55,60 ab	64,40 ABa
100	29,82 Ad	39,31 cd	45,51 Bbc	55,45 ab	59,73 ABa
200	26,73 ABc	41,39 b	57,10 Aa	59,90 a	66,97 Aa
300	17,65 Bc	44,19 b	52,98 ABab	62,08 a	61,27 ABa
400	27,91 ABd	42,31 c	57,40 Aab	65,79 a	53,82 Bb

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Na tabela 20, observa-se que os tratamentos resultaram em teores de Fósforo com diferenças significativas, tendo sido mais pronunciada entre os níveis de P_2O_5 . Contudo, observa-se um aumento considerável entre os tratamentos que receberam 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 , onde, na ausência de biocarvão o teor de P foi de 21.70 mg kg

e com apenas 20 t ha⁻¹ de biocarvão, o teor de P foi de 38.77, que estatisticamente foi igual aos outros níveis de biocarvão.

Amostras de carvão retiradas de diferentes sítios de terra preta e em diferentes profundidades apresentaram diferentes propriedades de adsorção e desorção de P (FALCÃO et al., 2003). Esses resultados permitiram inferir que esse carvão tem o potencial de reter quantidades significativas de P solubilizado dos fertilizantes minerais, assim evitando sua fixação química pelos óxidos de ferro e alumínio e pelas argilas tipo 1:1 presentes em altas concentrações nos solos tropicais.

Tabela 20. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P₂O₅ em Latossolo Amarelo sobre os teores de Fósforo (mg dm³) aos 365 dias após o plantio.

P ₂ O ₅ (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	2,44 C	2,17 D	2,48 D	2,56 C	2,68 B
100	8,57 BC	9,68 CD	7,91 CD	6,7 C	6,58 B
200	19,71 Abab	16,46 BCab	16,75 BCab	14,19 BCb	28,27 Aa
300	24,47 A	25,22 B	22,81 B	21,19 B	25,14 A
400	21,70 Ab	38,77 Aa	41,55 Aa	35,78 Aa	32,19 Aab

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Com aplicação das doses de P₂O₅ sem biocarvão, nota-se aumento significativo até a dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, já com aplicação de 20 t a significância foi linear até a dose máxima de P₂O₅, ocorrendo o mesmo onde se aplicou 40 e 60 t de biocarvão, porém, com teores menores, talvez devido a maior quantidade de biocarvão.

Os teores de P foram reduzidos partir de 40 t de biocarvão que pode estar ligado ao aumento do pH, levando ao aumento de micronutrientes disponíveis na solução do solo e consequentemente formando compostos insolúveis como fosfato de Fe e fosfato de Mn, ou seja, quanto maior a quantidade de biocarvão, maior o efeito de adsorção de P. No entanto, Nelson et al. (2011) e Qayyum et al. (2015), relataram que a aplicação de 5 t biocarvão reduziu temporariamente o teor de P disponível em dois tipos de solo, porém em Latossolo, não afetou significativamente a disponibilidade de P com quantidades extras de P adicionado.

Visto que aproximadamente 75% do P aplicado em solos brasileiros, na forma de fertilizante fosfatado solúvel são adsorvidos nas partículas coloidais do solo resultando em uma baixa eficiência agronômica deste elemento (Raij, 2011), a presença do biocarvão pode representar um “aliado” no processo de diminuição de custos na adubação fosfatada.

Oliveira, 2012, trabalhando com biocarvão de bambu sob diferentes temperaturas e diferentes fontes fosfatadas, relata que os teores P foram maiores nos tratamento com biocarvão (500 °C) e superfosfato triplo, em uma rotação de 4 ciclos sucessivos, permitindo ainda a observação de um efeito mais prolongado desta fonte solúvel

Nota-se ainda que os teores de P, independente dos níveis de P_2O_5 , foram afetados pela presença de biocarvão, o que pode estar associados a capacidade de adsorção de P pelo biocarvão, podendo desempenhar importante papel nos processos de sorção e desorção de P no solo, agindo como um adsorvente de P mais eficiente, por grama de material, do que as frações de argila dos solos. Rajapaksha et al. (2015), relataram que a presença de biocarvão no solo resultou em aumento de pH, CTC e no teor de P.

Estes resultados podem ainda, estar relacionado às características do biocarvão, visto que a pirólise realizada à alta temperatura produz, em geral, biocarvão com elevada área superficial ($>400 \text{ m}^2/\text{g}$) (Downie et al. 2009; Keiluweit et al. 2010), altamente aromático e consequentemente muito recalcitrante a decomposição (Sign et al., 2010), e é considerado bom adsorvente (Mizuta et al. 2004; Lima e Marshall, 2005), de cargas catiônicas e aniônicas (MORALES et al., 2013)

As razões para uma elevada eficiência do carbono pirogênico em reter nutrientes são: (a) o biocarvão apresenta maior superfície específica do que o carvão resultante da queima da madeira em temperaturas mais elevadas e (b) apresenta maior densidade de carga negativa por unidade de área superficial, consequentemente uma maior densidade de carga (LIANG et al., 2014). Esta elevada densidade de carga pode, em princípio, causar uma maior oxidação do próprio carbono pirogênico ou por meio de adsorção do carbono não pirogênico (LEHMANN et al., 2005).

Embora não se tenha observado diferença significativa, na ausência de P, os tratamentos que receberam 80 t ha^{-1} de biocarvão apresentaram leve aumento em relação ao controle. Comparando o tratamento controle com o que recebeu 40 t de biocarvão na ausência de P_2O_5 e o tratamento que recebeu 40 t de biocarvão com 100 kg de P_2O_5 , pode-se ver um aumento altamente significativo no teor de P

disponível no solo, com uma variação de 2.44 para 2.48 saltando para 7.91, saindo de uma faixa “muito baixo ou baixo” para “médio”, considerando teores ideais segundo RAIJ (2011). Num aspecto econômico, pode-se notar que a menor quantidade de P_2O_5 , pode ser mais eficiente na disponibilidade de P.

Já os teores de Fósforo total foram aumentados de acordo com o aumento das doses de biocarvão independente das doses de P. Esse P, provavelmente, está ligado a formações com Fe e Al. Observa-se que somente a aplicação de 80 t ha^{-1} de biocarvão aumentou em aproximadamente 500%, podendo-se inferir sobre o efeito do biocarvão como fonte de P, sem, contudo, ser uma forma disponível para as plantas (Tabela 21).

Em solos brasileiros Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007, encontraram uma variação de 13 a 47 % do P total ocorrendo na forma de P_o e Duda (2000) relata de 7 a 83 %, podendo esta variação estar, segundo estes autores, relacionada aos teores de C e fósforo total do solo. Wang et al., (2012) descreve que algumas matérias primas e temperaturas de carbonização, entre 250°C e 550°C , e que possuem altos teores de cinzas geram biocarvão com altos teores de P e com capacidade de recuperação do elemento maior, assim podem ser potenciais fontes de P com alta eficiência agronômica.

Tabela 21. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Fósforo total aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 (Kg ha^{-1})	Biocarvão (t ha^{-1})				
	0	20	40	60	80
0	7,02 Bb	9,25 Db	15,10 Dab	23,00 Dab	34,6 Ba
100	27,10 B	32,87 C	37,55 C	40,97 CD	38,45 B
200	57,32 Ab	54,15 BCb	58,60 BCb	62,45 BCab	80,87 Aa
300	64,72 A	69,30 AB	73,30 B	79,55 B	82,82 A
400	62,32 Ad	89,40 Ac	122,47 Aa	112,55 Aab	97,27 Abc

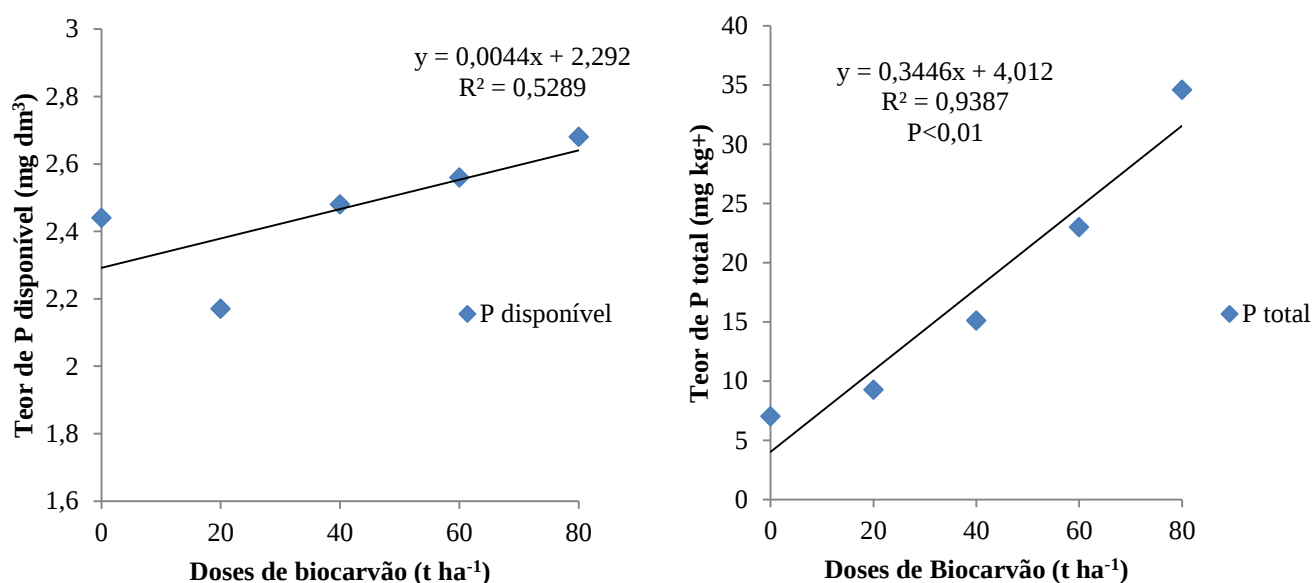
Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Quando se compara os teores de Fósforo disponível e de Fósforo total, em função das doses de biocarvão, observa-se que para o Fósforo total, houve um incremento expressivo (Figura 11), mesmo o material apresentando teores de P (0,6 g Kg), e 5,1 mg kg. Wang et al. (2013), mostrou que o efeito da disponibilidade de P pelo

biocarvão pode ser influenciada pelo teor de P presente no material, no entanto, trata-se do P disponível, que neste experimento mostrou leve aumento.

Jorio et al., (2012), relata que em grãos de carvão de terra preta foram encontradas, através de técnicas de microscopia, teores de P nas bordas do material, mostrando estrutura interna inerte, semelhante ao grafite estrutura externa com alguns nutrientes como Ca, P e Al.

Figura 10. Teores de P disponível e de P total em função do aumento das doses de biocarvão

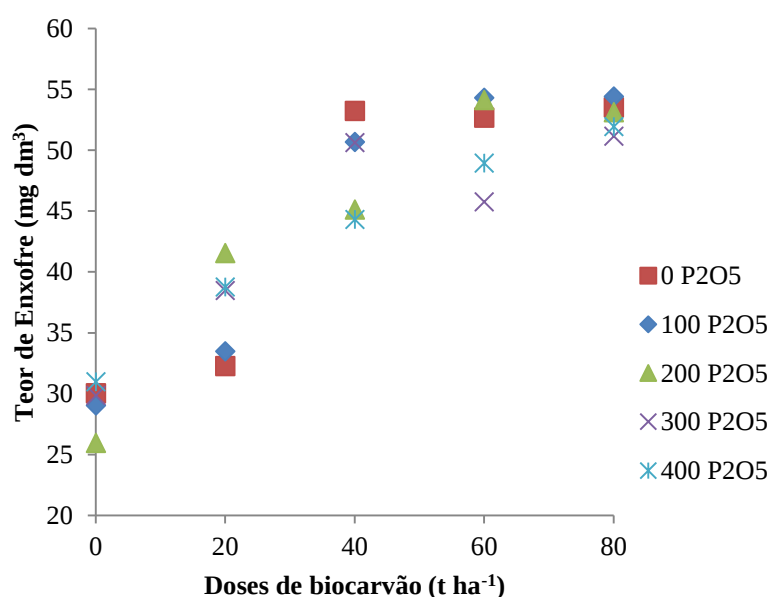


Os valores de Soma de base e de P, transparecem que os nutrientes foram retidos pelo biocarvão, e que a ausência de diferença significativa nos dados biométricos bem como nos valores de PSPA, podem ser o reflexo desta interação que ocorreu na química do solo e que de alguma forma seriam disponibilizados para as plantas, no entanto, na experimentação pode ainda ter havido um problema físico, uma vez que observou-se uma forte compactação do solo, o que pode ter impedido a captação de nutrientes pelo sistema radicular.

Os teores de Enxofre no solo foram afetados significativamente com o aumento das doses de biocarvão (Figura 12). A fonte fosfatada utilizada neste trabalho somente contém S para sua fabricação, a hipótese é de que o solo já tinha teores altos de S na

forma natural e quando adicionou-se biocarvão, foi melhorada a disponibilidade deste nutriente.

Figura 11. Efeito das doses de biocarvão em função das doses de P sobre os teores de Enxofre no solo.



4.4.3 Efeito de níveis de biocarvão e Fósforo nos teores de micronutrientes.

Os efeitos do biocarvão ainda são pouco explorados para micronutrientes, no entanto, no presente trabalho observou-se que os tratamentos apresentaram resposta significativa para todos os micronutrientes analisados. Os teores de Ferro foram reduzidos com aplicação somente de biocarvão em aproximadamente 50%, enquanto, na ausência de biocarvão estes teores aumentaram com o aumento das doses de P (Tabela 22). De uma maneira geral os teores de Fe foram reduzidos com a presença de biocarvão, quando comparados aos tratamentos sem biocarvão, mesmo assim, todos os teores apresentaram-se acima dos teores adequados. De acordo com Raij, 2011, teores acima de 12, são considerados “altos”.

Analisando-se somente o fator P₂O₅ os maiores níveis de Fe, revelaram-se quando aumentaram as doses, a partir de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e que a presença de

biocarvão afetou significativamente, de forma mais pronunciada os teores de Ferro, o que pode contribuir de maneira positiva na diminuição de compostos insolúveis como fosfato de ferro (Tabela 22).

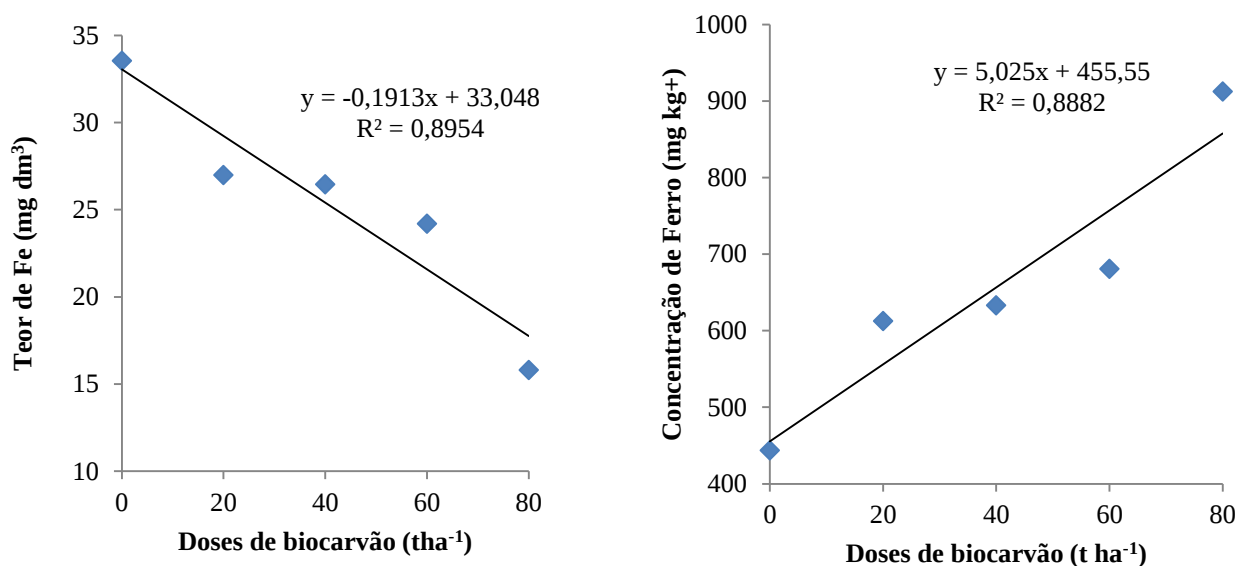
Tabela 22. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Ferro ($mg\ dm^{-3}$) aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 ($Kg\ ha^{-1}$)	Biocarvão ($t\ ha^{-1}$)				
	0	20	40	60	80
0	33,54 Ca	26,98 Bab	26,46 Aab	24,20 Ab	15,80 Bc
100	41,58 Ba	31,76 Bb	27,61 Abc	22,20 Acd	19,79 ABd
200	41,26 Ba	32,07 ABb	24,20 Ac	19,63 Acd	16,27 Bd
300	52,34 Aa	33,44 ABb	26,77 Abc	19,05 Ad	24,72 Acd
400	38,06 BCa	39,69 Aa	28,50 Ab	19,21 Ac	24,20 Abc

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Verifica-se ainda que os tratamentos que receberam 60 e $80\ t\ ha^{-1}$ de biocarvão foram os que apresentaram menores teores de Fe, mesmo com os valores de pH tendo sido aumentados, no entanto, observou-se nas plantas concentrações de Fe muito altas, que pode estar associado ao aumento de pH quando comparados aos tratamentos sem biocarvão ou mesmo pela maior capacidade de absorção pelas plantas (Figura 13).

Figura 12. Efeito da aplicação de doses de biocarvão sobre os teores de Fe no solo e concentração foliar de Ferro.



Já na dose de 20 t ha⁻¹ de biocarvão se nota redução dos teores de Fe da mesma como ocorreu nos teores de Cobre, porém, esses teores são considerados “médios” (Tabela 23).

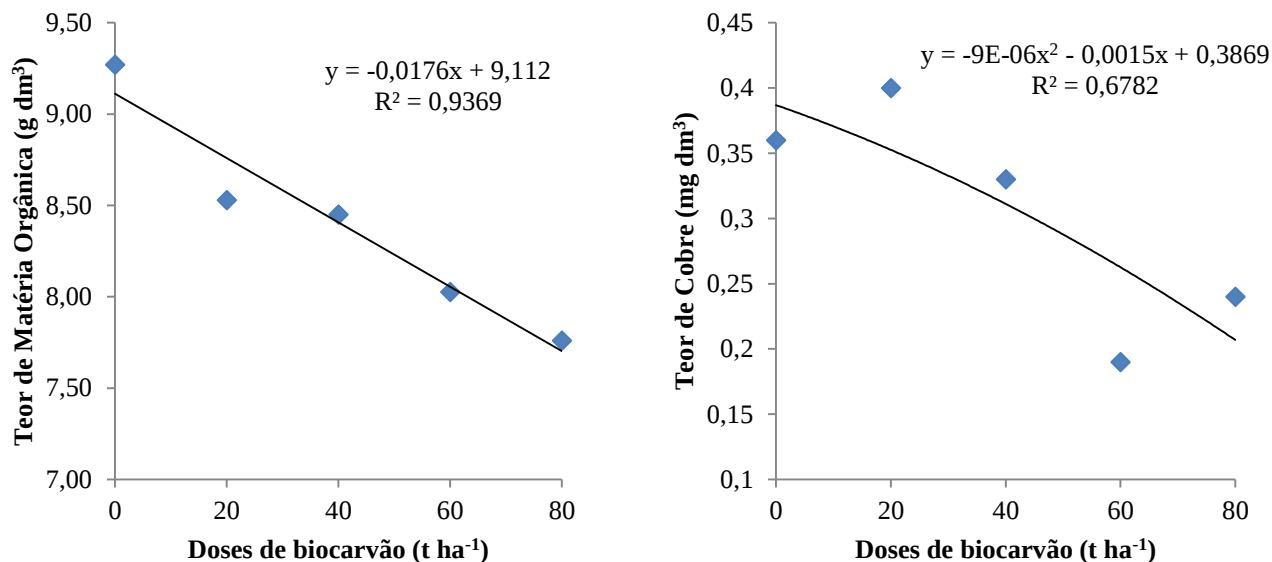
Tabela 23. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P₂O₅ em Latossolo Amarelo sobre os teores de Cobre (mg dm³) aos 365 dias após o plantio.

P ₂ O ₅ (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	0,36 Aa	0,40 Aa	0,33 Aab	0,19 Ac	0,24 Abc
100	0,33 Aa	0,38 Aa	0,38 Aa	0,17 Ab	0,24 Ab
200	0,31 Aab	0,40 Aa	0,36 Aa	0,25 Ab	0,22 Ab
300	0,36 Aa	0,34 Aa	0,33 Aa	0,23 Ab	0,22 Ab
400	0,36 Aa	0,36 Aa	0,22 Bb	0,25 Ab	0,24 Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

O Cobre é elemento afetado primeiramente pelos teores de Matéria Orgânica no solo, seguido pelo Fe, Co, Zn e Mn (Malavolta, 2006). Neste estudo a relação está proporcional, observando-se que quanto menor os teores M.O. menor é a disponibilidade de Cobre, uma vez que as doses de biocarvão reduziram os teores de M.O no solo (Figura 14). Embora também possa ter sido afetado pelo aumento dos valores do índice de acidez ativa, bem como todos os outros micronutrientes.

Figura 13. Efeito de doses de biocarvão sobre os teores de Matéria Orgânica em função dos teores de Cobre no solo.



Os teores de Zinco foram afetados significativamente, mesmo estando em baixos teores (Tabela 24). Talvez o Zn presente no solo tenha sido também adsorvido pelo biocarvão, já que estão abaixo do teor encontrado no tratamento controle ou ainda que tenham formado fosfato de Zn, se analisarmos os altos teores de P total. Trabalhos mostrando a interação biocarvão x micronutrientes para fertilidade do solo ainda são de fácil acesso. Por outro lado a redução destes valores também podem estar relacionada ao aumento do pH (Figura 15), que mostra que o aumento das doses de biocarvão proporcionou aumento dos valores de pH. O Zinco, bem como a maior parte dos metais pesados, ocorre sob forma catiônica nos solos, tornando sua adsorção maior quando se aumento o pH (McBride, 1989).

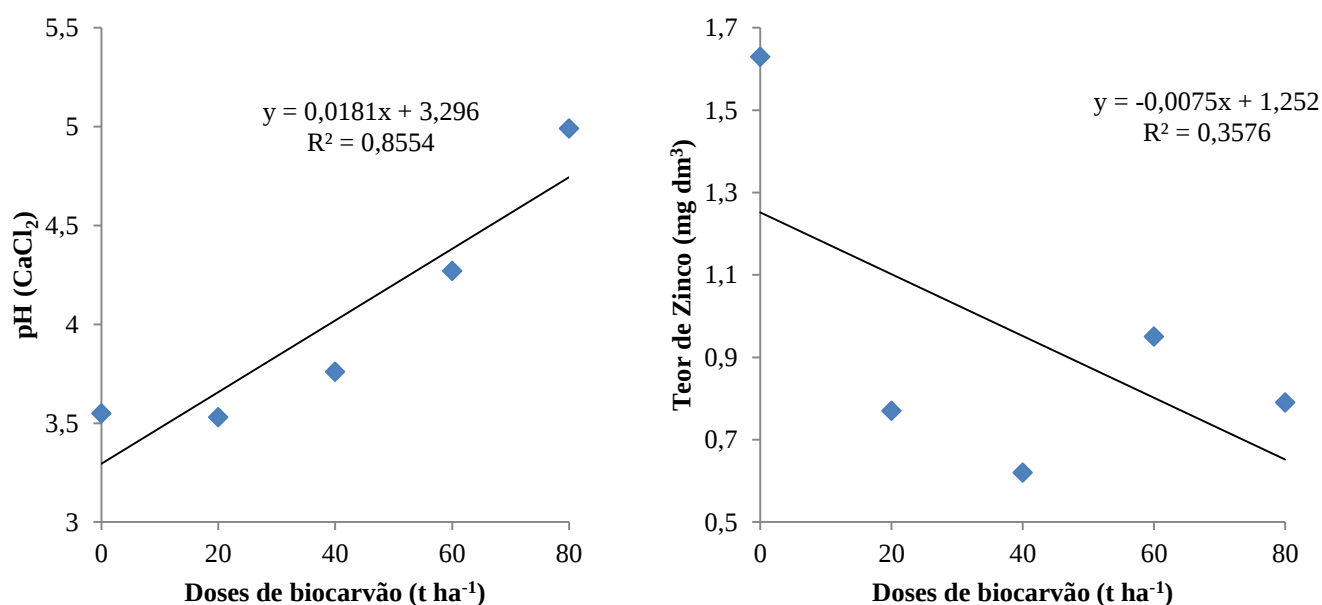
O Zinco, quando comparado a outros micronutrientes, tende a a ser mais móvel por realizar ligações de modo não específico aos colóides do solo, por causa de sua configuração eletrônica (McBride, 1989). A maior mobilidade do Zn está ligada à sua menor eletronegatividade (Zn = 1,6; Cd = 1,7; Pb e Cu = 1,8; e Cu = 1,9) (Antoniadis et al. 2007).

Tabela 24. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P_2O_5 em Latossolo Amarelo sobre os teores de Zinco ($mg\ dm^{-3}$) aos 365 dias após o plantio.

P_2O_5 ($Kg\ ha^{-1}$)	Biocarvão ($t\ ha^{-1}$)				
	0	20	40	60	80
0	1,63 Aa	0,77 Ab	0,62 Bb	0,95 Ab	0,79 Ab
100	1,17 Aba	0,66 Aa	0,67 Ba	0,93 Aa	1,21 Aa
200	0,83 Ba	1,18 Aa	0,90 Aba	0,86 Aa	1,39 Aa
300	1,00 Ba	1,00 Aa	1,31 Aa	0,70 Aa	1,07 Aa
400	0,71 Bb	1,06 Aab	1,02 ABab	0,76 Aab	1,32 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

Figura 14. Efeito de doses de biocarvão sobre os valores de pH $CaCl_2$ em função dos teores de Zinco no solo.



Considerando que, os Latossolos possuem baixos teores de Mn, podemos observar que, de uma maneira geral, quando se aumentou os níveis de biocarvão, esses teores foram elevados, saindo da faixa de suficiência “baixo” e alguns foram para “médio”. Moreira et al. (2009) trabalhando com terras pretas no Amazonas, relata que em alguns sítios, o teor de Mn aparece na faixa de 2.19 a 290 $mg\ kg$, Zn na faixa de 2.08 a 87.20 $mg\ kg$ e Fe entre 79 e 495 $mg\ kg$.

Observamos ainda que os tratamentos que receberam 20 t ha⁻¹ de biocarvão apresentaram teores reduzidos do elemento (Tabela 25). Analisando somente os níveis de biocarvão, com o aumento das doses, os teores aumentaram significativamente. No geral os micronutrientes foram afetados e verifica-se que os tratamentos que receberam biocarvão apresentaram mudanças positivas para a fertilidade do solo como um todo. Al-Wabel et al. (2015) estudando relações entre biocarvão e redução de metais pesados em plantas de milho, revelou que a utilização de 75% de biocarvão apresentou queda de 60.5% para 51.3% na concentração de Mn, de 28% para 21.2 % na concentração de Zn, de 60% para 29.5% para o Cu e de 53.2% para 47.2% para Cd.

Tabela 25. Efeito de diferentes doses de biocarvão e P₂O₅ em Latossolo Amarelo sobre os teores de Manganês (mg dm³) aos 365 dias após o plantio.

P ₂ O ₅ (Kg ha ⁻¹)	Biocarvão (t ha ⁻¹)				
	0	20	40	60	80
0	0,60 ab	0,50 Bb	0,97 ABa	1,04 Aa	0,97 Aa
100	0,73 a	0,62 ABa	0,77 Ba	1,06 Aa	1,04 Aa
200	0,53 b	0,72 ABb	0,96 ABab	0,98 Aab	1,30 Aa
300	0,54 b	0,94 ABab	1,14 ABa	1,10 Aa	1,13 Aa
400	0,45 b	1,06 Aa	1,36 Aa	1,18 Aa	0,94 Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si.

5 CONCLUSÕES

A aplicação das doses de biocarvão proporcionou aumento progressivo dos valores de pH independente das doses de P_2O_5 .

O tratamento que recebeu 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 40 t ha^{-1} de biocarvão aumentou o teor de P disponível em aproximadamente 100% quando comparado com o tratamento que recebeu somente 400 Kg ha^{-1} de P_2O_5 .

De uma maneira geral, os teores de P total aumentaram com o aumento das doses de biocarvão, independente das doses de P_2O_5 aplicadas.

O aumento das doses de biocarvão causou um efeito negativo nos dados biométricos das plantas, porém foi vista uma tendência ao crescimento com a aplicação de P_2O_5 .

O estado nutricional mostrou interações significativas entre os fatores de estudo para, K, Ca, B, Fe, Cu e Zn. As concentrações de P mostraram diferenças significativas somente entre as doses de P_2O_5 , sem, contudo, apresentar altas variabilidade numérica, bem como as concentrações de N que responderam somente para as doses de biocarvão de forma negativa com o aumento das doses. As concentrações de Ca, foram reduzidas com o aumento das doses de biocarvão e as de K, foram aumentadas até as doses de 40 t ha^{-1} de biocarvão. O aumento das doses de biocarvão proporcionaram elevadas concentrações de Fe e B..

Alguns atributos da fertilidade do solo se mostraram responsivas ao aumento das doses de biocarvão, como diminuição nos teores de Alumínio, aumento dos valores de pH Carbono, Nitrogênio e na Soma de Bases, que proporcionaram mudanças significativas na Saturação por bases e CTC.

Apesar de a Castanheira ser uma espécie nativa da Amazônia, pouco domesticada e adaptada a solos com baixa fertilidade natural, os resultados alcançados no presente estudo mostraram que baixas quantidades de biocarvão (na faixa de 40 a 60 t ha^{-1}) e adubação fosfatada (na faixa de 50 a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5) podem contribuir substancialmente para o desenvolvimento e crescimento das mudas após o transplântio no campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREUX, F.; CERRI, C.C. Current trends in the research on soil changes due to deforestation, burning and cultivation in the Brazilian tropics. **Toxicological and Environmental Chemistry**, v.20, p.275-283, 1989.

ARCHANJO, B.S.; ARAUJO, J. R.; SILVA, A.M.; CAPAZ, R.B.; FALCÃO, N. P. S.; JORIO, A.; ACHETE, C. A. Chemical Analysis and Molecular Models for Calcium, Oxygen, Carbon Interactions in Black Carbon Found in Fertile Amazonian Anthrosoils. **Environmental science & technology**, 48 (13): 7445-7452. 2014.

ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A., LOPES, A.S. Os Adubos e a eficiência das adubações. 2. Ed. ANDA, São Paulo. 35p. 1991.

ATKINSON, C.J., FITZGERALD, J.D., HIPPS, N.A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant Soil**, 337(1-2): 1-18. 2010.

AL-WABEL M.I., AL-OMRAN A., EL-NAGGAR A.H., NADEEM M., USMAN A.R.A. *Conocarpus* biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi J Biol Sci.* **22(4): 503–511**. 2015.

BARROS, S.V.S. “Avaliação da biomassa de espécies exóticas e nativas como fonte alternativa para geração de energia”. (**Dissertação de Mestrado**), UFAM, Manaus, AM. 2006.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **R. Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

BENITES, V. M. et al. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, p.7. 2003.

BRADY, N.C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos. 800p. 1983

BRASIL, E.C.; CRAVO, M.S. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará - A importância do uso racional de fertilizantes e calcário. **R. Est. Paraenses**, 2:55-66, 2009.

BEREK, A. K., HUE, N. AND AHMAD, A. Beneficial use of biochar to correct soil acidity. *The Food Provider*, September – November, 2011, 1-3. 2011.

BECK DA, JOHNSON GR, SPOLEK GA. Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality. **Environmental Pollution**, 159, 2111–2118. 2011.

BIRD, M. I.; MOYO, C.; VEENENDAAL, E. M.; LLOYD, J.; FROST, P. Stability of elemental carbon in savanna soil. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 13, n. 4, p. 923-932, Dec. 1999.

CAIRES, E. F. et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 57-64, 2008.

CAVALCANTE, P.B. Frutos comestíveis da Amazônia. 3. ed. Belém, INPA. p. 65-77. 1976.

CISNEROS, C.M.A., GONZÁLEZ, M.P.E., "Characterization of Manihot and preparation of activation carbon." 30. 1-7. 2010.

CHAN, K.Y.; XU, Z. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. **In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Ed. Biochar for environmental management: Science and technology.** Londres, Earthscan. 67-84p. 2009.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A. AND JOSEPH, S. Using poultry litter biochars as soil amendments. **Australian Journal of Soil Research**. 46(5) 437–444. 2007.

CORREA, R.M.; PINTO, J.E.B.P.; BERTOLUCCI, S.K.V.; REIS, E.S.; SOUZA, A.V. Potencial do carvão ativado, filtro amarelo e interação fotoperíodo/temperatura na formação de raízes tuberosas de batata-doce in vitro. **Ciencia Rural**, v.33, n.3, p. 423-430, 2003.

COSTA, J. R.; CASTRO, A. B. C.; WANDELLI, E. V.; CORAL, S. C. T.; SOUZA, S. A. G. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, vol. 39(4), p. 843 – 850. 2009.

CLOUGH T., CONDRON L. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction. **Journal of environmental quality**, 39(4): 1218–1223. 2010.

DELUCA TH, MACKENZIE MD, GUNDALE MJ. Biochar Effects on Soil Nutrient Transformations. Earthscan, London. 2009.

DEMEYER, A., NKANA, J.C.V., VERLOO, M.G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v.77, p.287-295, 2001.

DOWNIE A, CROSKY A, MUNROE P. Physical properties of biochar. In 'Biochar for Environmental Management: Science and Technology'. (Eds J Lehmann, S Joseph) pp. 13–32. (Earthscan, London, UK). 2009.

DONADIO, L. C.; MÔRO, F. V.; SERVIDONE, A. A.; Frutas nativas. São Paulo: Novos Talentos, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília. 353p. 2013.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa, Brasília. 370pp, 1999.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. Química de suelos com énfasis en suelos de América Latina. 2.ed. São José. pp.420. 1987.

FALCÃO, N.P.S.; MOREIRA, A.; COMENFORD, N.B. A fertilidade dos solos de terra preta de índio da Amazônia Central. **In:** TEIXEIRA, W.G. (org.). As terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas. 1ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 2010.

FALCÃO, N.P.S.; CARVALHO, E.J.M.; COMERFORD, N. Avaliação da fertilidade de solos antropogênicos da Amazônia Central. **In:** Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira, XI. Grupo de trabalho: Terras Pretas Arqueológicas na Amazônia: Estado da Arte, Rio de Janeiro. 2 p. 2001.

FALCÃO, N.P.S.; COMERFORD, N.; LEHMANN, J. Determining Nutrient Bioavailability of Amazonian Dark Earth Solis — Methodological Challenges, **In:** LEHMANN, J., KERN, D., GLASER, B., WOODS, W. (Eds.), Amazonian Dark Earths. Springer Netherlands, p. 255-270. 2003.

FALESI, I. C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira. **In:** Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (Belém, PA). Zoneamento

agrícola da Amazônia: 1ª aproximação. Belém, PA, p. 17-67. (IPEAN. Boletim Técnico, 54). 1972.

FERNANDES, M.R. Alterações em propriedades de um Latossolo Vermelho Distrófico, fase cerrado decorrentes da modalidade de uso e manejo. Viçosa. **(Dissertação de Mestrado)** – Universidade Federal de Viçosa. 65p, 1982.

FOX, R L; SIDARLE, P. G. E. Phosphate adsorption by soils of the tropics. **In:** DROSDOFF, M., ed. Diversity of soils in the tropics. Madison, American Society of Agronomy. p.97-119. 1978.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, 88: 37-41.2001.

GLASER, B.; WOODS, W. I. (Eds.). Amazonian Dark Earths: explorations in space and time. Berlin: Springer, 2004.

GLASER, B., LEHMANN, J., ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, 35: 219-230. 2002.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.4, p.521-530, 1990.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G., Uso de Fertilizantes Fosfatados. **In:** ESPINOZA, W.; OLIVEIRA, A.J. de. (ed.) Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. Brasília, DF. EMBRAPA-DID, Brasília, p.255-290. (Documentos, 14), 1984.

GOLCHIN, A. et al. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregates dynamics. **In:** LAL, R. (Ed.). Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, FL: CRC. p.245-266. 1997.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; SCHEEL-YBERT, R. (1999) Isótopos do carbono dos carvões e da matéria orgânica do solo em estudos de mudança de vegetação e clima no Quaternário e da taxa de formação de solos do estado de São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.71, n.4, p.969-980, 1999.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.; RYAN, P.D. PAST - Paleontological Statistics ver. 1.12. 2004. Disponível para acesso em: 13 out. 2015.

HINA, K.; BISHOP, P.; ARBESTAIN, M. C.; CALVELO-PEREIRA, R.; MACIÁ-AGULLÓ, J. A.; INDMARSH, J.; HANLY, J. A.; MACÍAS, F.; HEDLEY, M. J. Producing biochars with enhanced surface activity through alkaline pretreatment of feedstocks. **Aust. J. Soil Res.**, 48, 606. 2010

HOSSAIN, M.K.; STREZOV, V.; CHAN, K.Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P.F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of Environmental Management**, 92: 223-228, 2011.

HOMMA, A. K. O. Cemitério das castanheiras. **Ciência Hoje** 202: 60-63. 2004.

HUA, L.; WU, W.; LIU, Y.; MCBRIDE, M. B.; CHEN, Y. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. **Energy Fuels**, 16, 1–9. 2009.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (IBI) Guidelines. Standardized Product Definition and international.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Fial.pdf (acessado em 16 outubro de 2013). 2012.

JORIO, A., RIBEIRO-SOARES, J., CANÇADO, L. G., FALCAO, N. P. S., DOS SANTOS, H. F., BAPTISTA, D. L.; ACHETE, C. A. Microscopy and spectroscopy analysis of carbon nanostructures in highly fertile Amazonian anthrosoils. **Soil and Tillage Research**, 122: 61-66. 2012.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity - Results from a short-term pilot field study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.140, p.309-313, 2011.

KEILUWEIT, M.; NICO, P.S.; JOHNSON, M.G.; KLEBER, M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). **Environmental Science & Technology**, 44: 1247-1253. 2010.

KÄMPF, A.N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A.N.; FERMINO, M.H. (Ed.). Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênesis, 139-145p. 2000.

KERN, D.C.; COSTA, M.L.; FRASÃO, F.J.L. Evolution of the scientific knowledge regarding Black Earth Soil in the Amazon. Terra Preta. Symposium, Benicássim, Dpain, July 13-14. 2001.

KERN, D.C.; COSTA, M.L. Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo Amarelo derivados de lateritos. **Geociências**, v.16, n.1, p.141-156, 1997.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. Ação antrópica e pedogênese em solos com Terra Preta em Cachoeira-Porteira, Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, 1:187-201. 2005.

KERN, D.C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.219-225, 1989.

LEÃO, N. V. M., S. T. OHASHI, I. C. G. VIEIRA; R. GHILARD JÚNIOR. Ilha de germoplasma de Tucuruí: uma reserva da biodiversidade para o futuro: 1-232. ELETRONORTE, Brasília. 2005.

LEHMANN, J.; STEPHEN, J. Biochar for Environmental Management. Biochar for Environmental Management: An Introduction, 1-8. 2009.

LEHMANN, J. Terra preta nova- Where to from here? **In:** W.I. WOODS, W.O, TEXEIRA.; J, LEHMANN, C. STERNER, A. WINKLER AND L. REBELLATO (eds) Amazonian Dark Earths: Wim Sombreak Vision, Springer, Berlin. p.473-484. 2009.

LEHMANN, J., DA SILVA JR., J.P., STEINER, C., NEHLS, T., ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, **Plant and Soil** 249, 343–357. 2003a.

LEHMANN, J., KERN, D.C., GERMAN, L.A., MCCANN, J., MARTINS, G.C.; MOREIRA, A.; ‘Soil Fertility and Production Potential’, **In** J. LEHMANN, D.C. KERN, B. GLASER AND W.I. WOODS (eds.), Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. p. 105–124. 2003b.

LEHMANN U, MARTINEAU T, DIELEMAN M, LEXOMBOON D, MATWA P. The staffing of remote rural health services in low-income countries: a literature review of issues and options affecting attraction and retention. 3rd . 2005.

LEHMANN, C.J., da SILVA Jr, J.P., RONDON, M., C.M., D.S., GREENWOOD, J., NEHLS, T., STEINER, C., GLASER, B., Slash-and-char - a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon **In:** 17th World Congress of Soil Science. Bangkok, 2002

LEPSCH, I.F. 19 Lições de Pedologia, **In:** Solos da Amazônia. Ed. Oficina de textos, SP, 2011

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J.O.; THIES, J.; LUIZÃO, F.J.; PETERSEN, J.; NEVES, E.G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Sci Soc Am** 70:1719-1730. 2006.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOHI, S.P.; THIES, J.E.; O'NEILL, B.; TRUJILLO, L.; GAUNT, J.; SOLOMON, D.; GROSSMAN, J. NEVES, E.G.; LUIZÃO, F.J. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. **Organic Geochemistry**, 41: 206-213. 2010.

LIANG, X.-Q., JI, Y. J., HE, M.-M., SU, M.-M., LIU, C., TIAN, G.-M., . A simple N balance assessment for optimizing the biochar amendment level in paddy soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 45, 1247–1258. 2014.

LIMA, H.N.; SCHAEFER, C.E.R.; MELLO, J.W.V.; GILKES, R.J.; KER, J.C. Pedogenesis and pre-Columbian land use of “Terra Preta Anthrosols” (Indian black earth) of Western Amazonia. **Geoderma**, 110:1-17. 2002.

LOCATELLI, M.; VIEIRA, A. H.; GAMA, M. M. B.; FERREIRA, M. G. R.; MARTINS, E. P.; FILHO, E. P. S.; SOUZA, V. F.; MACEDO, R. S. Cultivo da Castanha-do-Brasil em Rondônia. Sistemas de Produção, 7 ISSN 1807-1805 Versão Eletrônica. 2005.

LOCATELLI, M., VIEIRA, A. H., SOUZA, V. F. Aspecto do cultivo da Castanha do Brasil. Folder. EMBRAPA/CPAFRO, Porto Velho. 2010.

LIMA, S. L.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; TAMIOZZO, S.; BUCK, G. B.; MARIMON, B. S. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. . **Acta Scientiarum Agronomy**, 35(3): 333-341. 2013.

LIMA, I.M., AND W.E. MARSHALL. Granular activated carbons from broiler manure: Physical, chemical and adsorptive properties. **Biores. Technol.** 96:699-706. 2005.

LOPES, A.S. Reservas de fosfatados e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba. **Anais. Piracicaba**: Potafos/Anda, 2003.

LORENZI, H. Árvores brasileiras, 4. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, v.1. 2000.

MACÊDO, J.L.V.; RODRIGUES, M.R. Solos da Amazônia e o cultivo do dendezeiro. In: Viégas, I.J.M.; Müller, A.A. (Eds.). A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará/Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas, p. 73-87. 2000.

MADARI, B. E. et al. Research on anthropogenic Dark Earth Soils. Could it be a solution for sustainable agricultural development in the Amazon? In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time. Berlim: Springer, Cap.181. p. 169. 2004.

MADARI, B. E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXERA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. (Ed.). As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, 13:172-188. 2009.

MADARI, B. E. et al. Carvão Vegetal como condicionador de solo para Arroz de Terras Altas (Cultivar Primavera): um estudo prospectivo. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão. 06p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 125). 2006.

MAŠEK, O. et al. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. Fuel, v. 103, p. 151–155, 2013.

MAEKAWA, K. Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura (**APAN** – Associação dos produtores de Agricultura natural), 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 319p., 1997.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 638 p, 2006.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 889p. 2002.

MATOVIC, D. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective. **Energy**, v.36, n.4, p.2011-2016, 2011.

MELO JUNIOR, H. R. et.al. Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas em uma Zona Urbana da Amazônia Brasileira: Estudo de caso do bairro Eletronorte, Porto Velho (RO). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, Curitiba: **Anais**. Curitiba: ABAS, 2006. p. 1-20. 2006.

MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). **Geoderma, Amsterdam**, v. 58, p. 107-123, 1993.

MITIDIERI, J. Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicais. São Paulo, Nobel, Editora da USP, 198p, 1983.

MIYASAKA, S., OHKAWARA, T., NAGAI, K., YAZAKI, H., SAKITA, M.N. Técnicas de produção e uso do Fino de Carvão e Licor Pirolenhoso In: ENCONTRO DE PROCESSOS DE PROTEÇÃO DE PLANTAS: Controle ecológico de pragas e doenças, 1., Botucatu. **Resumo**. p.161-176. 2001.

MORALES, M. M.; COMERFORD, N.; GUERRINI, I. A.; FALCÃO, N. P. S.; REEVES, J. B. Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar–soil mixtures. **Soil Use and Management**, 29(3):306-314. 2013.

McLAUGHLIN, M.J.; SINGH, B.R. Cadmium in soils and plants: a global perspective. In: McLAUGHLIN, M.J.; SINGH, B.R. (Ed). Cadmium in soils and plants. Dordrecht: Kluwer Academic. p.269. 1999.

MIZUTA, K.; MATSUMOTO, T.; HATATE, Y.; NISHIHARA, K.; NAKANISHI, T. Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. **Bioresource Technology**, v.95, p.255-257, 2004.

MÜLLER, C. H.; FIGUEIREDO, F. J. C.; KATO, A. K.; CARVALHO, J. E. U.; STAIN, R. L. D.; SILVA, A. B. A cultura da Castanha do Brasil na Amazônia. Coleção plantar, EMBRAPA/CNPAO, Belém. pp.65. 1995.

NELSON NO, AGUDELO SC, YUAN WQ, GAN J. Nitrogen and Phosphorus Availability in Biochar-Amended Soils. **Soil Science**, 176, 218–226. 2011.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV. 399p. 1999.

NOVAK, J. M. et al. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal **Plain Soil**. v. 174, n. 2, p. 105–112, 2009.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; AZEVEDO, E. R.; SOUZA, A. A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the amazon region for the utilization of charcoal for soil amendment. **Journal of Brazilian Chemical Society**, 20(6): 1003-1010. 2009.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. F. ; CARVALHO, M. T.M.; MADARI, B.E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), 39(2): 321-344. 2015.

NUMATA, K.; OGAWA, T.; TANAKA, K. Effects of pyroligneous acid (wood vinegar) on the several soilborne diseases. Proceedings of the Kanto Tosan **Plant Protection Society**, Omagary, v.5, n.41, p. 107-110, 1994.

OLIVEIRA, D. M. Biocarvão de bambu e fontes de fósforo afetando a disponibilidade de P e o crescimento de feijão caupi e milho em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia. **Dissertação de Mestrado**, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. 32pp. 2012.

PABST, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para a discussão pedogenética. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Antropologia, p.7, n.1, p.5-19. 1991.

PENNACCHIO, H.L. Castanha-do-brasil – Proposta de preço mínimo safra 2006/2007. Editora Mapinguari. Brasília. p. 08 -10. 2006.

POTTER, R.L.; JORDAN, R.M.; BATMANIAN, G.J.; HAN, X.G. Assessment of a phosphorus fraction method for soil: problems for further investigation. **Agricultural ecosystem and environment**, v.34, p.453-463, 1991.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. **Adv. Agron.**, 75:57-133, 2002.

PROCHNOW, L. I. Eficiência Agronômica de fosfatos acidulados contendo compostos fosfáticos de ferro para o arroz de sequeiro e arroz inundado. 118 f. Tese (**Livre Docência**) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 2001.

QAYYUM, M.F., ASHRAF, I., ABID, M., STEFFENS, D. Effect of biochar, lime, and compost application on phosphorus adsorption in a ferralsol. J. **Plant Nutr. Soil Sci.** 178, 576–581. 2015.

RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, C.A. Efeito residual das aplicações de fontes de fósforo em Gramíneas forrageiras sobre o cultivo sucessivo da soja em vasos. **Bragantia**. 69:149-155. 2010.

RAMOS, D.P.; LEONEL, S.; MISCHAN, M.M.; DAMATTO JÚNIOR, E.R. Avaliação de genótipos de bananeira em Botucatu-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.1092-1101, dez. 2009.

RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amazonica**, 10(1): 7-41. 1980.

RAIJ, B. V; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônômico. 284p. 2001.

RAIJ, B. V. Correção do solo. In: RAIJ, B. van. (Ed.). Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: IPNI, p. 352-375. 2011.

RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A.R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochar with varying properties to a temperate soil. **Biol. Fertil. Soils**. 48:271-284, 2012.

RAJAPAKSHA AU, VITHANAGE M, AHMAD M, SEO DC, CHO JS, LEE SE, LEE SS, OK YS. Enhanced sulfamethazine removal by steam-activated invasive plant-derived biochar. **J. Hazard Mater** 290:43–50. 2015.

RESENDE, A.V.; NETO, A.E.F.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, A.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30: 453-466. 2006.

REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; DOS SANTOS, S. S.; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Revista virtual química**. 3 (5), 426-433. 2011.

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural Carolina do Norte em solo de cerrado. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21, Petrolina, PE; SBSC/EMPRAPA-CPATSA. P.38-40. 1994.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.178-184, 2005.

RICHARDS, I. R.; JOHNSTON, A. E. The effectiveness of different precipitated phosphates as sources of phosphorus for plants. Acessado em 12 de janeiro de 2014. 2001.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York: John Wiley. 617p. 1976.

SANCHEZ, P.A.; COCHRANE, T.T. Soils constraints in relation to major farming systems of tropical America. Los Banos: International Rice Research Institute. p.106-139. 1980.

SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H.; NICHOLAIDES, J.J. Amazon basin soils: management for continuous crop production. **Science**, 216:821-827, 1982.

SCHMIDT, M. W. I.; SKJEMSTAD, J. O. Carbon isotope geochemistry and nanomorphology of soil black carbon: black chernozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. **Global Biogeochemistry Cycles**, Mainz, v. 16, p. 1123, 2002.

SEILER, W.; CRUTZEN, P. J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic Change, Dordrecht**, v. 2, p. 207-247, 1980.

SIQUEIRA, C.; LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Eletroquímica de solso tropicais de carga variável. II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.13-17, 1990.

SMITH, N.J.H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the**

Association of American Geographers, p.70, v.553-566, 1980.

SINGH BP, HATTON BJ, SINGH B, COWIE AL, KATHURIA A. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. **Journal of Environmental Quality** 39, 1–12.. 2010.

SINGH, B.P.; COWIE, A. A abundância natural de C, para a decomposição de medição dos biochars no solo. **In:** Gerência do carbono e do nutriente em continuação da oficina do centro de pesquisa da agricultura, do fertilizante e do cal. (Eds LD Currie, LJ Yates). (Universidade de Massey: Palmerston norte, Nova Zelândia), p. 549. 2008.

SOMBROEK, W.G. Amazon Soils - A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Center for Agriculture Publications and Documentation Wageningen. PUDOC. 1966.

SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M. DA S.; CUNHA, T.J.F.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta e Terra Mulata: suas potencialidades agrícolas, suas sustentabilidades e suas reproduções. **In:** TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas. Manaus, AM. 1ª ed.: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 251-257. 2009

SOMBROEK, W.G. KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M.S.; JARBAS, T.C.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta and Terra Mulata: Pré-Colombian Amazon Kitchen midden and agricultural fields, their sustainability and their replication. **In:** WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., Thailand, 2002. Proceeding... Thailand: WSSS, 1-9, 2002.

SOMBROEK, W.G.; RUIVO, M.L.; FEARNside, P.M.; GLASER, B.; LEHMANN, J. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. **In:** LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). Amazonian Dark Earths: origin, properties, and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p.125-139. 2003.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.1301-1310, 2009.

SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. Aluminum and calcium to continuous crop production in a Brazilian Amazon Oxisol. **Agron. J.**, 84:843-850, 1992.

SPOKAS, K.A.; REICOSKY, D. C. Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production. **Annals of Environmental Science**, v. 3, p. 179–193, 2009.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J.L.V.; BLUM, W.E.H.; ZECH, W. Long-term effects of charcoal from manuring manure on production and fertility in a soil of highly tempered central Amazonia. **Plant Soil**, 291: 275-290, 2007.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian dark earths in Central Amazonia – preliminary results. **In: GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). Amazonian dark earths: explorations in space and time. New York: Springer. p.195-212. 2004.**

STEINER, C., B. GLASER, W. G. TEIXEIRA, J. LEHMANN, W. E. H. BLUM, AND W. ZECH. Nitrogen Retention and Plant Uptake on a Highly Weathered Central Amazonian Ferralsol amended with Compost and Charcoal. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. 2008.

STRATTON, M.L.; RECHCIGL, J.E. Organic mulches, wood products and composts as soil amendments and conditioners. **In: Handbook of soil conditioners. Wallace, A., Terry, R.E. (ed.) Marcel Dekker, Inc. New York, 1998.**

SOLAIMAN, Z.M., MURPHY, D.V., ABBOTT, L.K. Biochars influence seed germination and early growth of seedlings. **Plant Soil** 353, 273–287. 2012.

SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Efficiency of forest species for multiple use in Amazonia. **Scientia Forestalis**, 36(77): 7-14. 2008.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. **Blackwell Scientific Publications**, Oxford, 372., 1979.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y. WIBOWO, I. F. ANSHORI, S. e OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, 52:4, 489-495, 2012.

TONINI, H.; M. M. C. OLIVEIRA, JR; D. SCHWENGBER. Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. **Ciência Florestal** 18(2): 151-158. 2008.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. de. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima - andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) **Acta Amazonica**, vol.35, no.3, p.353-362. 2005.

TSUZUKI, E.; WAKIYAMA, Y.; ETO, H.; HANDA, H. Effect of Pyroligneous Acid and Mixture of Charcoal with Pyroligneous Acid on the Growth and Yield of Rice Plant . **Japan Journal Crop Science**, Bankyo-ku, Tokyo, v.58, n.4, p.592-597, 1989.

TSUZUKI, E.; MORIMITSU, T.; MATSUI, T. Effect of chemical compounds in pyroligneous acid on root growth in rice plant. **Japan Journal Crop Science**, Bankyo-ku, Tokyo, v.66, n.4, p.15-16, 2000.

TROMPOWSKY, P.M.; BENITES, V.M.; MADARI, B.E.; PIMENTA, A.S.; HOCKADAY, W.C.; HATCHER, P.G. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. **Org. Geochem.**, 36:1480-1489, 2005.

UZOMA, K.C., M. INOUE, H. ANDRY, H. FUJIMAKI, Z. ZAHOR, AND E. NISHIHARA. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil Use Manage.** 27:205-212. 2011.

VALE JÚNIOR, J.F.; SOUZA, M.I.L.; NASCIMENTO, P.P.R.R.; CRUZ, D.L.S. Soils of the Amazon: etnopedology and sustainable development. **Revista Agroambiente**, 5(2): 158-165. 2011.

VANCE CP, UHDE-STONE C; ALLAN D. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing non-renewable resources. **New Phytologist**, 157:423-447. 2003.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.Y. DOWNIE, A.; JOSEPH, J.S. Efeitos da oxidação do biochar em pirólise lenta de resíduos de fábrica de papel na fertilidade agronômica do solo. **Plant and soil**, 327: 235-246, 2010.

VAN ZWIETEN, L.; BHUPINDERPAL, S.; JOSEPH S, KIMBER S.; COWIE A.; CHAN Y. Biochar reduces emissions of non-CO2 GHG from soil. In: LEHMANN J, JOSEPH

S (eds) Biochar for environmental management. Earthscan Publications Ltd. p. 227–249. 2009.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A.C.; VELDE, M. van der; DIAFAS, I. Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg: European Commission. 149p. 2010.

VIEIRA, A. H.; M. LOCATELLI.; V. F. SOUZA. Crescimento de castanha-do-Brasil em dois sistemas de cultivo:. EMBRAPA-CPAF Rondônia (Boletim de Pesquisa, 22), Porto Velho.pp.6-12. 1998.

VILHENA, M. R. Ciência, tecnologia e desenvolvimento na economia da castanha-do-brasil- A transformação industrial da castanha-do-brasil na COMARU-Região Sul do Amapá. **Dissertação de mestrado**, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 149p. 2004.

WUTKE, E.B.; PIRES, R.C.M.; TANAKA, R.T.; SAKAI, E.; MASCARENHAS, H.A.A. Desenvolvimento vegetativo e radicular, rendimento de grãos e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro da seca após cultivo de adubos verdes, em plantio direto. **Revista de Agricultura**, v.78, p.77-91, 2003.

ZHANG, A.; LIU, Y.; PAN, G.; HUSSAIN, Q.; LI, L.; ZHENG, J.; ZHANG, X. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. **Plant and Soil**, v.351, p.263-275, 2011.

WANG T, CAMPS ARBESTAIN M, HEDLEY M, BISHOP P. Chemical and bioassay characterisation of nitrogen availability in biochar produced from dairy manure and biosolids. **Organic Geochemistry**, 51, 45–54. 2012.

WIEDNER, K.; RUMPEL, C.; STEINER, C.; POZZI, A.; MAAS, R.; GLASER, B. Chemical evaluation of chars produced by thermochemical conversion (gasification, pyrolysis and hydrothermal carbonization) of agro-industrial biomass on a commercial scale. **Biomass Bioenerg.**, 59, 264–278. 2013.

WU D, PAN B, WU M, PENG HB, ZHANG D, XING BS. Coadsorption of Cu and sulfamethoxazole on hydroxylized and graphitized carbon nanotubes. **Sci Total Environ.**;427:247–252. 2012.

WOODS, W.I.; MCCANN, J.M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. Austin: University of Texas Press. 7-14 p. 1999.

YAO Y, GAO B, INYANG M, ZIMMERMAN AR, CAO X, PULLAMMANAPPALLIL P, YANG L. Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings: characterization and phosphate removal potential. **Bioresource Technol.** 102(10):6273–6278. 2011.

YUAN, J., R. XU, W. QIAN AND R. WANG. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars. **J. Soil. Sediment.** 11: 741–750. 2011a.

YUAN, J., R. XU, N. WANG AND J. LI. Amendment of acid soils with crop residues and biochars. **Pedosphere**, 21: 302–308. 2011b.

YARED, J. A. G. Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia, In: Congresso Florestal Brasileiro; Campos do Jordão. **Anais... Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais**, V. 1 p. 119-122. 1990.

YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; VIANA, L. M.; et al. Comportamento silvicultural de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B.), em diversos locais na Amazônia, In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7. Curitiba **Anais...Curitiba**: SBS-SBEF, v.2, p.416-418. 1993.

ZHAO L, CAO X, MAŠEK O, ZIMMERMAN A. Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. **J Hazard Mater.** 256-57:1-9. 2013.

ZHANG J, LIU J, LIU R. Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate. **Biores Technol.** 176:288-91. 2015a.

ZIMMERMAN, A.R. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbono (biochar). **Environmental Science Technology**, 44: 1295-1301. 2010.

ZUIDEMA, P. A.; BOOT, R. G. A. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, v.18, p.1-31. 2002.

